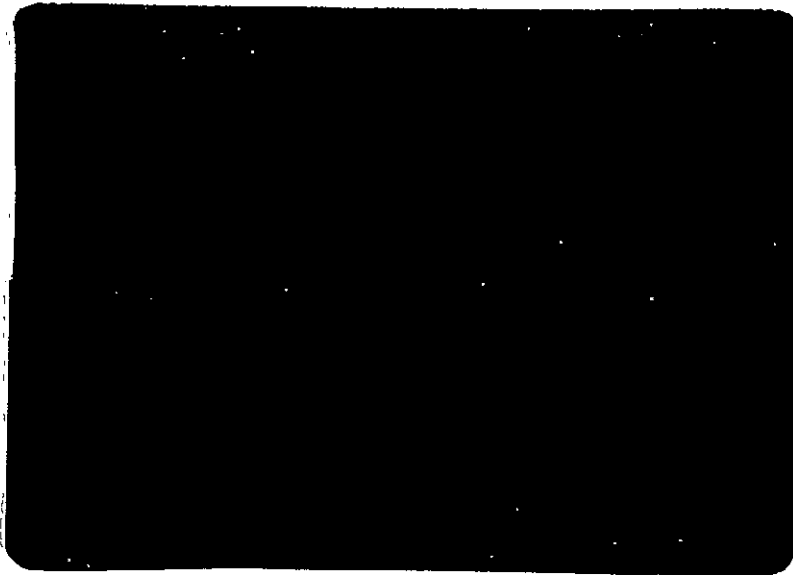


"Made available under NASA sponsorship  
for interest of early and wide dis-  
semination of Earth Resources Survey  
information and without liability  
for any use made thereof."

7.9-10039  
CR-157926



(E79-10039) THE APPLICATION OF REMOTE  
SENSORS IN THE INTERPRETATION OF LANDSAT  
DATA FOR REGIONAL GEOLOGICAL MAPPING IN THE  
CENTRAL PORTION OF MINAS GERAIS (Instituto  
de Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 229 p

N79-13446

63/43

Unclas  
00039



CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

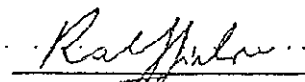
The application of remote sensors in the interpretation of Landsat Data for regional geological mapping in the central portion of Minas Gerais

Made available under NASA sponsorship in the interest of early and wide dissemination of Earth Resources Survey Program information and without charge for any use made thereof.

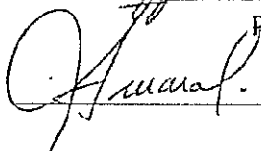
1. Classificação INPE-COM.1/TPT C.D.U.: 621.38SR:551.7(815-1)		2. Período	4. Critério de Distribuição:  interna <input type="checkbox"/>  externa <input checked="" type="checkbox"/>
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor)  GEOLOGIA REGIONAL SENSORES REMOTOS LANDSAT			
5. Relatório nº INPE-1224-TPT/083	6. Data Abril, 1978	7. Revisado por <i>Jorge de Mesquita</i> Jorge de Mesquita	
8. Título e Sub-Título  APLICAÇÃO DE SENSORES REMOTOS, COM ÊNFASE EM IMAGENS LANDSAT, EM MAPEAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL NO NORTE DE MINAS GERAIS		9. Autorizado por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Nelson de Jesus Parada Diretor	
10. Setor DSR	Código	11. Nº de cópias 27	
12. Autoria Juércio Tavares de Mattos Roberto Pereira da Cunha		14. Nº de páginas 189	
13. Assinatura Responsável <i>Roberto Pereira da Cunha</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas  Este trabalho apresenta os resultados obtidos de interpretações de imagens orbitais do LANDSAT, para fins de mapeamento geológico regional. Foram utilizadas também imagens de RADAR, Fotografias aéreas, mapas magnetométricos e fitas magnéticas de dados do LANDSAT, compatíveis com o analisador multiespectral IMAGE-100, no qual foram realizadas as interpretações automáticas e extraídos outros dados. Apresenta uma metodologia para a investigação geológica de grandes áreas através destes sensores e técnicas. Como resultado foram elaborados um Mapa Geológico e um Esboço Tectônico, na escala 1:1.000.000, de uma área de cerca de 143.000 km <sup>2</sup> . Abrangem partes da bacia do São Francisco e da Cordilheira do Espinhaço, nos Estados de Minas Gerais e Goiás, área de relativa complexidade geológica e potencialmente rica em recursos minerais.  Original photography may be purchased from: EROS Data Center  Sioux Falls, SD 57198			
17. Observações Tese de Mestrado em Sensores Remotos e Aplicações, aprovada em 24 de junho de 1977			

Aprovado pela Banca Examinadora  
em cumprimento dos requisitos exigidos  
para a obtenção do Título de Mestre em  
Sensores Remotos e Aplicações.

Dr. Ralf Gielow

  
\_\_\_\_\_  
Presidente da Banca

Dr. Gilberto Amaral

  
\_\_\_\_\_  
Orientador

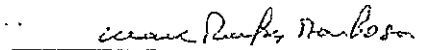
Dr. Fernando Flávio M. de Almeida

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca  
-convidado-

Geô. Liu Chan Chiang, MSc.

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca

Geô. Marx Prestes-Barbosa, MSc.

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca

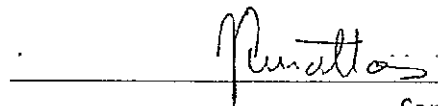
Eng. Agro. Vitor Celso de Carvalho, MSc.

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca

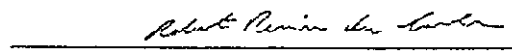
Eco. Renê Antonio Novaes, MSc.

  
\_\_\_\_\_  
Membro da Banca

Juércio Tavares de Mattos

  
\_\_\_\_\_  
Candidato

Roberto Pereira da Cunha

  
\_\_\_\_\_  
Candidato

## ÍNDICE

ABSTRACT .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii

### CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - Objetivo .....	1
1.2 - Localização da Área .....	1
1.3 - Aspectos Fisiográfico .....	2
1.3.1 - Vegetação .....	2
1.3.2 - Clima .....	4
1.3.3 - Geomorfologia .....	5

### CAPÍTULO II

SISTEMAS DE INVESTIGAÇÃO .....	9
2.1 - LANDSAT .....	9
2.2 - RADAR .....	11
2.3 - IMAGE-100 .....	12
2.4 - Fotografias Aéreas .....	17
2.5 - Mapas Magnêtométricos .....	17

### CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS .....	19
3.1 - Materiais .....	19
3.2 - Métodos .....	22

### ETAPAS DO DIAGRAMA DE FLUXO DE TRABALHO .....

1.0 - Aquisição de imagens e bibliografia .....	22
2.0 - Interpretação fotogeológica de Imagens LANDSAT .....	24
2.1 - Pesquisa bibliográfica .....	27
3.0 - Mapa geológico preliminar .....	28
4.0 - Trabalho de campo .....	28



5.0 - Caracterização dos aspectos .....	29
5.1 - Aspectos de caráter geológico .....	29
5.2 - Aspectos de caráter geomorfológico .....	30
5.3 - Aspectos de caráter interpretativo .....	30
6.0 - Análise preliminar dos resultados .....	31
7.0 - Outros sensores e outras técnicas .....	31
7.1 - RADAR .....	32
7.2 - Fotografias aéreas .....	33
7.3 - Analisador multiespectral IMAGE-100 .....	35
7.4 - Mapas magnetométricos .....	47
8.0 - Análise e verificação .....	48
9.0 - Mapa geológico .....	48
10.0- Análise do mapa geológico e bibliografia .....	49
11.0- Esboço tectônico .....	50
12.0- Relatório final .....	50

#### CAPÍTULO IV

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	51
4.1 - Estratigrafia .....	53
4.1.1 - Complexos .....	53
4.1.2 - Grupo Espinhaço .....	54
4.1.3 - Grupo Macaúbas .....	58
4.1.4 - Formação Jequitaiá .....	63
4.1.5 - Grupo Araxá .....	66
4.1.6 - Grupo Canastra .....	69
4.1.7 - Grupo Bambuí .....	73
4.1.8 - Formação Areado .....	81
4.1.9 - Formação Urucuia .....	83
4.1.10- Coberturas Terciárias .....	85
4.1.11- Coberturas Terciárias-Quaternárias .....	86
4.1.12- Depósitos Quaternários .....	87
4.1.13- Intrusivas Básicas .....	89
4.1.14 - Intrusivas Ácidas .....	90
4.2 - Tectônica .....	91
4.2.1 - Setor Oriental .....	92
4.2.2 - Setor Ocidental .....	96

4.2.3 - Unidades Tectônicas .....	103
4.3 - Recursos Minerais .....	107
4.4 - Sensores e Técnicas .....	113
4.4.1 - LANDSAT .....	113
4.4.1.1 - Unidades .....	113
4.4.1.2 - Estruturas .....	122
4.4.1.3 - Quatro Índice das unidades LANDSAT .....	124
4.4.2 - RADAR .....	124
4.4.3 - Fotografias Aéreas .....	127
4.4.4 - IMAGE-100 .....	131
4.4.5 - Mapas Magnetométricos .....	136

## CAPÍTULO V

CONCLUSÕES .....	143
AGRADECIMENTOS .....	145
BIBLIOGRAFIA .....	146

APÊNDICE A - Mapas e esboços tectônicos da área

APÊNDICE B - Fotografias de trabalho de campo

APÊNDICE C - Mapas LANDSAT

APÊNDICE D - Mapas RADAR

APÊNDICE E - Mapa Fotografias Aéreas

APÊNDICE F - Quadro das principais características das unidades geológicas.

### ABSTRACT

*This paper presents the results obtained from the interpretation of LANDSAT data for regional geological mapping. Radar imagery, aerial photographs and aeromagnetic maps were also used. Automatic interpretation using LANDSAT CCT was carried out in the I-100 equipment. A methodology for geological investigation of large areas is presented. As main results it was obtained a geological and a tectonical map at a 1:1.000.000 scale, of an area of about 143.000 sq. Km in the central portion of Minas Gerais and eastern Goiás states.*

## LISTA DE FIGURAS

Fig. I.1 - Localização da área .....	3
Fig. II.1- Configuração do sistema IMAGE-100 .....	13
Fig. II.2- Fluxo funcional do IMAGE-100 .....	15
Fig. II.3- Gráfico do fluxo de aquisição do histograma .....	16
Fig. III.1 - Diagrama de fluxo de trabalho .....	23
Fig. III.2 - Modelo de divisão de imagem para estudo no IMAGE-100 .....	36
Fig. III.3 - Histogramas esquemáticos de três amostras .....	38
Fig. III.4 - Histogramas esquemáticos das amostras CAN5, CAN 6 ...	40
Fig. III.5 - Histogramas esquemáticos das amostras LAT3, LAT 5 ...	42
Fig. III.6 - Formas de afloramento de uma unidade .....	43
Fig. III.7 - Modelo de célula simples e célula múltipla .....	46
Fig. IV.1 - Coluna estratigráfica da área de Cristalina .....	78
Fig. IV.2 - Zonas Tectônicas da Plataforma Epi-Brasileira do Brasil Central .....	102
Fig. IV.3 - Padrão de drenagem de filitos e xistos .....	128
Fig. IV.4 - Padrão de drenagem de filitos e laterita .....	130
Fig. IV.5 - Histogramas esquemáticos comparativo de amostras ..	135
Fig. IV.6 - Estruturas resultantes de interpretação visual e através do IMAGE-100 .....	137
Fig. IV.7 - Anomalias magnéticas regionais .....	139
Fig. IV.8 - Anomalias magnéticas isoladas e alinhadas .....	140

## LISTA DE TABELAS

Tab. III.1 - Imagens e Fotografias utilizadas .....	20
Tab. III.2 - Dados dos histogramas das amostras CAN 5, CAN 6 ....	39
Tab. III.3 - Dados dos histogramas das amostras LAT 3, LAT 5 ....	41
Tab. III.4 - Exemplo de intervalos de "slicer" .....	44
Tab. III.5 - Exemplo de "slicer" para o canal 7 .....	45
Tab. IV.1 - Quadro das unidades geológicas .....	52
Tab. IV.2 - Quadro comparativo da estratigrafia do Grupo Bambuí.	75
Tab. IV.3 - Quadro sinóptico das ocorrências minerais .....	111
Tab. IV.4 - Quadro índice das unidades LANDSAT .....	125

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

#### 1.1.- OBJETIVO

A utilização de sensoriamento remoto, em nível orbital, desde 1972, tem fornecido valiosas informações da superfície da terra, através dos satélites LANDSAT 1 e 2, os quais possuem sensores que fornecem produtos, utilizáveis para a análise visual ou automática.

A necessidade de mapeamentos (mapas geológicos base), de extensas áreas do Território Nacional, tem sido constante, como planejamento básico, dentro do setor de pesquisas, para avaliação e levantamento dos recursos minerais do país.

Com esta finalidade, vários trabalhos de mapeamento geológico regional já foram realizados em diversas áreas, no programa brasileiro de sensoriamento remoto, tendo-se utilizado imagens tanto em nível de aeronave quanto orbital, em diversas escalas e ampliações.

O presente trabalho, visa o estudo e aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, utilizando as imagens MSS do LANDSAT, no mapeamento geológico regional, aliadas a imagens de RADAR e fotografias aéreas disponíveis, no sentido de estudar a potencialidade conjunta dos sistemas, cujas informações possam caracterizar as unidades geológicas e feições estruturais dos diversos alvos, através de suas propriedades espectrais.

#### 1.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo deste trabalho, situa-se no norte do Estado de Minas Gerais, incluindo parte sudeste do Estado de Goiás. A brange um total de 143.000 Km<sup>2</sup>, compreendidos entre as latitudes 16° e 18° sul e longitude 42° e 48° oeste (Fig. I.1).

A área estudada, corresponde parte da Folha Belo Horizonte (Folha SE-23-Y e SE-23-X), do Projeto Folha Geológica ao Milionésimo em desenvolvimento neste Instituto.

Localiza-se, a área, em uma região de considerável expressão econômica em potencial, não havendo porém, um mapeamento geológico de integração ou esquema de organização entre as diferentes unidades geológicas.

Há cerca de três anos os autores reúnem conhecimentos de imagens, bibliografias e verdade terrestre da região estudada.

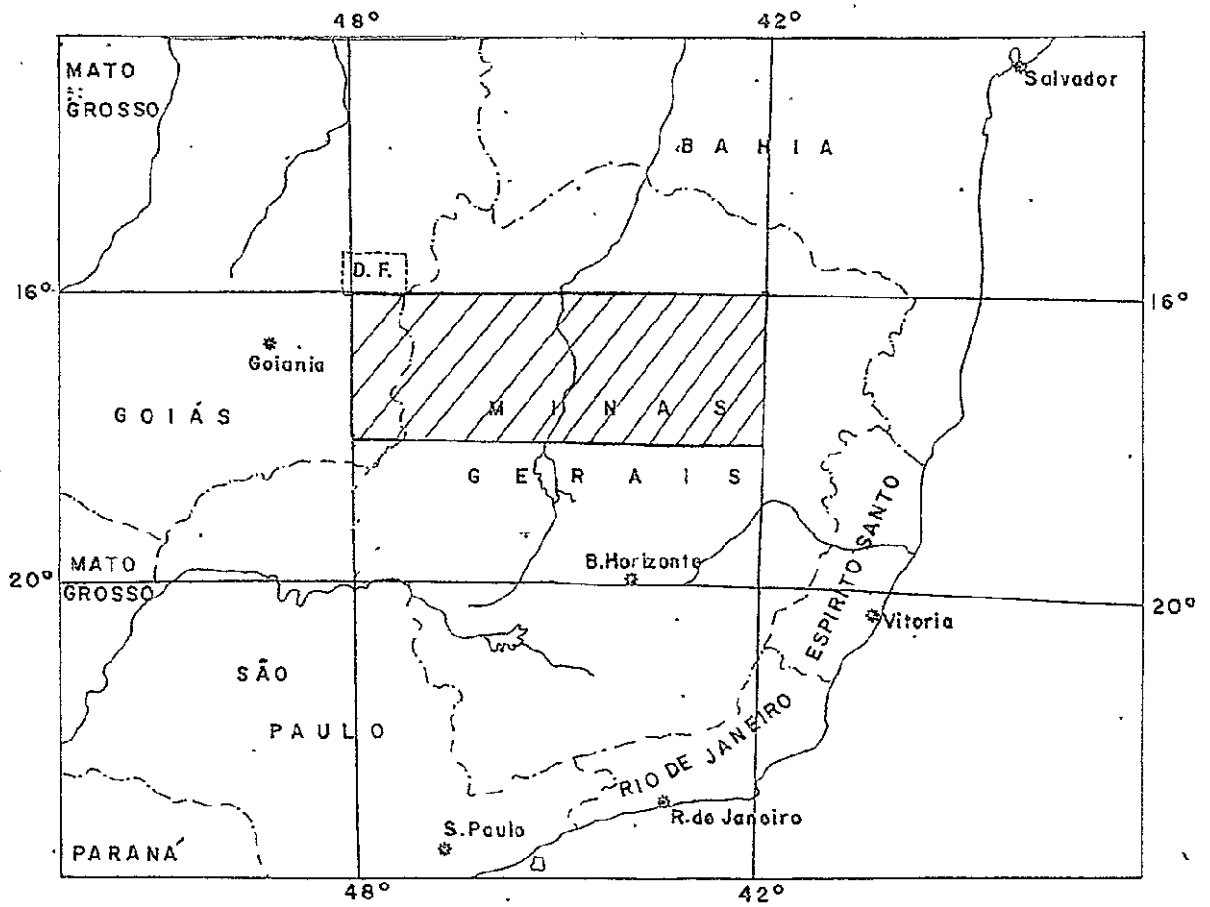
Esta área, tem sido alvo de estudo de vários pesquisadores e também, de frequentes observações de verdade terrestre, constituindo-se portanto, de grande importância para o estudo de técnicas de sensoriamento remoto.

### 1.3 - ASPECTOS FISIOGRAFICOS

#### 1.3.1 - VEGETAÇÃO

A vegetação predominante é do tipo cerrado. Distribui-se praticamente ao longo de toda a área estudada, porém subordinadamente pode-se encontrar cerradão, campos, caatingas e florestas mistas.

A vegetação, do tipo cerrado, ocorre amplamente na região central da área mapeada, ocupando as partes planas ou levemente onduladas, mais propícia ao seu desenvolvimento, como é o caso as regiões drenadas pelos rios Preto, Paracatu, Urucúia, do Sono, Santo Antonio, Velhas, São Francisco e seus afluentes. Além desta área central, o cerrado também se estende para os domínios ocidentais na região banhada pelo rio São Marcos, e orientais da serra do Espinhaço.



ESCALA 1:11000000

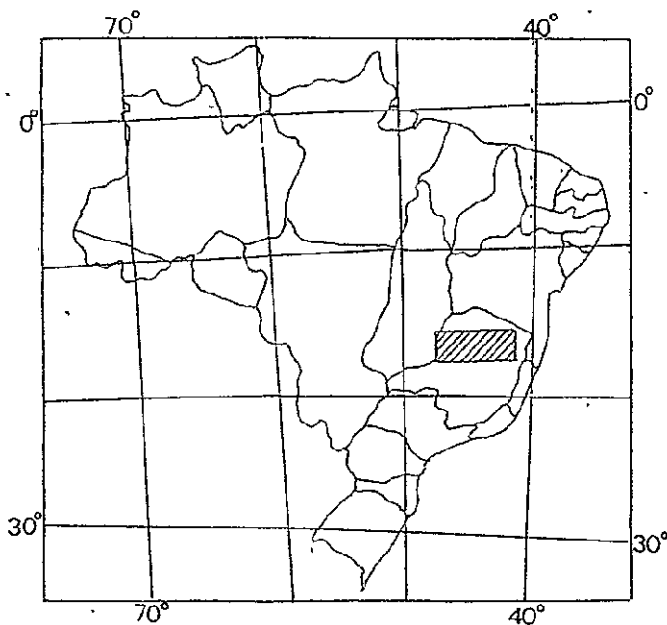


FIG. 1-1-LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

ORIGINAL PAGE -  
OF POOR QUALITY



O cerrado é facilmente caracterizado pelas árvores de pequeno porte, com poucos metros de altura, espalhadas em meio a uma cobertura de gramíneas.

As áreas de cerradão são menos abundantes, porém, bastante distribuídas, e geralmente associadas a locais de solos mais espessos, ou com predominância de calcários, os quais propiciam o desenvolvimento de uma vegetação mais densa, apresentando árvores de maior porte.

As áreas de campo são bastante restritas, formando manchas dentro do cerrado. São constituídas por gramíneas e arbustos espessos. É notável a ocorrência deste tipo de vegetação, em áreas de filitos e também em regiões de relevo mais elevado e aplainado.

Na porção nordeste da área, a partir do valo do Jequitinhonha, com sentido para o norte, o cerrado cede lugar às caatingas, cuja a vegetação bem escassa e características é típica das regiões secas.

As regiões florestais, do tipo floresta mista, desenvolvem-se nas áreas gnaissicas e granito-gnaissicas do sudeste da área, estendendo-se para leste desde a borda oriental da serra do Espinhaço, sendo pouco representada na área mapeada.

### 1.3.2 - CLIMA

Devido à grande extensão da área mapeada e aos raros serviços regulares de meteorologia, as informações das condições climáti - cas da região, são poucas.

As temperaturas médias anuais variam entre 23<sup>o</sup> e 20<sup>o</sup>C diminuindo com a latitude, no sentido norte para sul.

As estações de seca correspondem aos meses de abril a setembro. Os meses de junho, julho e agosto, correspondem ao período de

inverno sem chuvas, onde se registram as temperaturas mais baixas. As chuvas ocorrem nos meses de dezembro a fevereiro e, os demais, são marcados por temperaturas elevadas, caracterizando o verão com precipitações torrenciais.

Os índices de precipitações anuais são variáveis. Na região norte de Minas Gerais, eles não ultrapassam a 1.300 mm, sendo que este valor cresce para sul. A umidade relativa do ar é, também, crescente no sentido norte-sul, oscilando em torno de 65%. Estes dados dão uma idéia do comportamento geral, não mostrando condições reais, devido à falta de estações de estudo na região.

A leste da serra do Espinhaço, na região das chapadas, bem como em todo o vale do São Francisco e baixo rio das Velhas, o clima é do tipo quente e umido, com estação seca bem marcada (inverno). Já na região ocidental do rio São Francisco, o clima também é quente, porém mais seco.

### 1.3.3 - GEOMORFOLOGIA

Esta área compreende em grande parte a bacia hidrográfica do São Francisco, a qual é limitada a oriente pela serra do Espinhaço e a ocidente pelas áreas elevadas de Goiás.

A região em estudo encontra-se inserida no denominado Planalto Brasileiro, sendo que neste planalto, segundo AB'SABER (1968), são individualizadas duas províncias morfoestruturais: O Planalto Central, representado pela depressão periférica sanfranciscana, e o Planalto Oriental, representado pela serra do Espinhaço e planalto do leste.

O Planalto Central apresenta um relevo suavizado, resultado da ação de vários ciclos erosionais. É bem representado pelas áreas elevadas a leste, as quais constituem o divisor das bacias do São Francisco e Paraná. A esta área, do Planalto Central, correspondem os planaltos da Superfície Pratinha e a depressão periférica Goiana, de ALMEIDA (1959).

As serras da Aldeia, Tiririca, dos Pilões, assim como o Contraforte Central, servem como divisores entre as referidas bacias, onde os rios São Marcos e Corumbá a oeste, separados pelo Contraforte, drenam para o sul integrando-se no sistema da bacia do Paraná, enquanto que os rios Pretos e Paracatu, a leste do divisor, drenam o sistema da bacia do São Francisco.

Nestas áreas elevadas, a leste, o relevo é bastante suave. Constituem-se de morros pouco elevados, com vales amplos, real mostra de relevo arrasados numa região de rochas xistosas, porém mais movimentado que as porções correspondentes as rochas do Bambuí, nesta região, as quais são bastante planas e recobertas com crostas lateríticas, testemunho do ciclo sul americano, de KING (1956). Destaca-se, nesta paisagem de terrenos planos, o domo de Cristalina, que exerce um controle na drenagem que corre para os rios São Marcos e Corumbá. Na serra dos Pilões, a monotonia do relevo é quebrada com a ocorrência de litologias mais resistentes, as quais formam escarpas verticais e "hogbacks", com frente voltado para a bacia Sanfranciscana.

As áreas situadas a oriente do divisor da bacia, correspondendo à depressão Sanfranciscana, mostram relevo mais diversificado. Pode-se observar relevo de rochas dobradas ("apalachiano" - região do Rio Preto), relevo cárstico (regiões de Unaí e Montes Claros), relevo tabular (Chapadão dos Gerais), relevo ondulado (ardósias do Bambuí) etc.

O aplainamento generalizado produzido pelo ciclo Sul-Americano, de KING (1956), que se desenvolveu do Cretáceo Superior ao Terciário médio, considerado por BRAUN (1971), como o mais extenso e perfeito aplainamento do Brasil, niveou, indistintamente, rochas e diferentes naturezas e foi responsável pela extensa laterização. Deixou seus remanescentes sob a forma de chapadas, como no topo dos arenitos cretácicos da Formação Areado, cuja peneplanização é fato responsável pelo seu englobamento neste ciclo. O Chapadão dos Gerais (em cotas superiores a 1.000 m), e a cobertura laterítica peneplanizada, situada a NW da área, podem ser consideradas deste ciclo.

O entalhamento na superfície Sul Americana, pelo ciclo de erosão Velhas de KING (op.cit), durante o Plio-Pleistoceno, com a destruição de maior parte da sedimentação cretácea, é responsável pelas dissecções que se observam na bacia do São Francisco a incisão profunda ao longo do rio das Velhas e a formação dos depósitos da planície, dos rios São Francisco, Paracatu, Urucúia e Velhas com altitudes variando entre 550 a 700m.

O Planalto Oriental é o que apresenta o principal sistema orográfico da região. A serra do Espinhaço forma uma extensa faixa montanhosa, alinhada no sentido norte-sul, a qual estabelece um divisor de águas entre a bacia do São Francisco, a oeste, e os rios Jequitinhonha e Araguaia, a leste.

Nos limites entre a borda ocidental da serra do Espinhaço, com as unidades do Grupo Bambuí, devido à erosão diferencial e a fenômenos estruturais, originou-se uma topografia brusca, onde o contato entre as unidades mostra falhamentos de empurrão ou inversos, cujos rejeitos destacam-se na topografia.

Na serra do Espinhaço, a morfologia complexa mostra relevos possantes, com vales profundos e encostas escarpadas, contrastando com as cristas quartzíticas. Vários níveis de aplainamento ocorrem, onde cristas de quartzito, mostrando-se francamente mais resistentes, sobressaem. Para leste, o relevo torna-se suave, predominando as chapadas à medida que se distanciam da borda oriental da serra, constituindo planaltos soerguidos e fortemente dissecados. Estes aplainamentos são observados cortando estruturas e litologias diferentes, relacionando-se quase que exclusivamente ao ciclo Sul Americano, onde atingiu um estágio avançado de peneplanização em rochas do Grupo Macaúbas, com cotas de 900m a 1.000m.

Toda área sofreu ação erosional intensa, embora sejam os sedimentos Terciários e Quaternários, os responsáveis pela agradação da mesma, como podem ser observados nas chapadas a leste do rio Jequitinhonha.

## CAPÍTULO II

### SISTEMAS DE INVESTIGAÇÃO

#### 2.1 - LANDSAT

Este sistema faz parte do programa proposto pela NASA, inicialmente com a denominação de ERTS - Earth Resources Technology Satellite Program, tendo entrado em operação em 23 de julho de 1972, com o lançamento do satélite ERTS-1, atualmente denominado de LANDSAT-1. Em continuidade a este programa, encontra-se em órbita desde 22 de janeiro de 1975, o LANDSAT-2 com sensores idênticos aos do LANDSAT-1.

Os satélites LANDSAT 1 e 2, situados em uma altitude de 920 Km, descrevem orbitas aproximadamente circulares, síncronas com o sol e quase polares, recobrimdo todo o globo terrestre. As órbitas descritas possuem um período de 103 minutos, sendo que os satélites realizam 14 órbitas diárias e, a cada 18 dias, repete uma mesma órbita imageada.

O processo de imageamento é tal que permite obter imagens de uma mesma cena, aproximadamente à mesma hora local. A faixa da superfície da Terra, coberta pelos sensores dos satélites, é contínua, possuindo aproximadamente 185 Km de largura e apresentando um recobrimento lateral de, pelo menos, 14% entre faixas adjacentes.

Os satélites, LANDSAT 1 e 2, adquirem imagens multiespectrais da superfície da Terra, cujos dados são gravados a bordo e enviados posteriormente para as estações de rastreamento ou transmitidos, diretamente a estas estações. Além das estações dos Estados Unidos, Canadá e Itália, o Brasil participa do programa LANDSAT, através do Departamento de Sensoriamento Remoto de Recursos Terrestres deste Instituto, possuindo uma estação rastreadora em Cuiabá (MT) e uma de processamento de dados em Cachoeira Paulista (SP).

Os satélites, LANDSAT 1 e 2, são equipados com dois sistemas sensores para estudo dos recursos terrestres: o "MULTISPECTRAL SCANNER" (MSS) e o "RETURN BEAM VIDICON" (RBV) (NASA, 1972). No satélite LANDSAT-1 o sistema RBV foi desativado dias após o lançamento e, no LANDSAT 2, funciona intermitentemente.

O "MULTISPECTRAL SCANNER" ou imageador multispectral é dotado de um espelho oscilatório, que faz a varredura do terreno, transversal ao deslocamento do satélite. A energia recebida pelo espelho é dirigida através de um sistema ótico para 24 detetores, que operam em quatro faixas distintas do espectro eletromagnético (seis detetores para cada banda espectral).

Do imageamento resultam imagens da superfície da Terra em 4 faixas espectrais: duas no visível e duas na região do infravermelho próximo, compreendidas entre os seguintes comprimentos de onda:

CANAL 4 - 0.5 - 0.6 micrometros	visível
CANAL 5 - 0.6 - 0.7 micrometros	
CANAL 6 - 0.7 - 0.8 micrometros	infravermelho próximo.
CANAL 7 - 0.8 - 1.1 micrometros	

Os dados recebidos das estações de rastreamento são processados, sendo então postos em filmes ou em fitas magnéticas. A apresentação das imagens pode ser feita em cópias de papel, transparências positivas e negativas, composições a cor e em fitas CCT (fitas compatíveis com o computador).

## 2.2 - RADAR

As técnicas de sensoriamento remoto, utilizando sistema de RADAR, foi empregada pela primeira vez no Brasil, em 1969 pela Mis são 96 (CNAE, 1970) sobre algumas áreas testes como, por exemplo, a do Quadrilátero Ferrífero e adjacências, em Minas Gerais. O Departamen to Nacional de Produção Mineral e a Comissão Nacional de Atividades Es paciais, atualmente Instituto de Pesquisas Espaciais, foram os órgãos planejadores e coordenadores da missão, com a cooperação da NASA, atra vés de convênio.

A utilização do sistema de RADAR, para recobrimento de grandes áreas e em caráter sistemático, foi e tem sido empregado pelo projeto RADAMBRASIL, cujo objetivo inicial foi de realizar o mapeamen- to e levantamento dos recursos naturais das regiões norte e nordeste do País.

Dentre as sucessivas ampliações da área dos levantamen- tos feitos pelo RADAMBRASIL, parte do Estado de Minas Gerais foi levan tado, cujos produtos encontram-se disponíveis sob a forma de fotoíndi- ces e mosaicos semi-controlados.

As imagens de RADAR do projeto RADAM, obtidas empregan do iluminação a uma frequência de aproximadamente 9,6 GHz, correspondem a um comprimento de onda de 3,12 cm (região das microondas - banda X), polarizado horizontalmente. A recepção da radiação refletida, é do ti po coerente, com abertura sintética focalizada. A altitude nominal do imageamento foi de 11.000 a 12.000 metros acima do nível do mar, com direção norte-sul. A largura das faixas imageadas foi de  $37 \pm 2$  Km., com intervalo entre as linhas de voo de 29,6 a 33,3 Km, apresentando re soluções nominais de 15m para a azimutal e 15m para a longitudinal.

As imagens originais, obtidas na escala 1:400.000, fo ram posteriormente processadas sob a forma de fotoíndices, na escala 1:1.000.000, e mosaicos semi-controlados na escala 1:250.000

O fotoíndice e os mosaicos semi-controlados de RADAR, utilizados neste trabalho e situados entre as latitudes  $16^{\circ}$  e  $18^{\circ}$ S e longitudes  $42^{\circ}$  a  $45^{\circ}$ W, correspondem à metade da área total coberta pelas imagens do LANDSAT. As serras do Espinhaço e Cabral, os rios São Francisco, Jequitinhonha e Araguaia são os componentes fisiográficos que se destacam, na região, como feições de referência.

### 2.3 - IMAGE-100

O IMAGE-100 é um sistema de análise de imagens, baseado no caráter multispectral das mesmas. Este analisador multispectral realiza uma classificação automática de imagens, permitindo extrair informações temáticas, bem como realçar dados destas imagens, produzindo maiores contrastes entre os alvos.

O sistema IMAGE-100 é composto das seguintes unidades principais: (vide Fig. II.1).

- console de análise de imagem
- unidade de memória de imagem
- unidade de leitura ótica
- impressora
- centro de controle de processamento, incluindo:
  - . computador PPD 11/35, 32 K de memória de núcleo
  - . unidade de disco
  - . leitora de fita de papel
- unidade de fitas magnéticas
- terminal gráfico com painel (TECTRONIX)

No IMAGE-100 a classificação automática é realizada com as informações contidas em imagens orbitais (fitas compatíveis com o computador-CCT e transparências positivas) e fotografias aéreas convencionais (fitas digitalizadas ou transparências positivas).



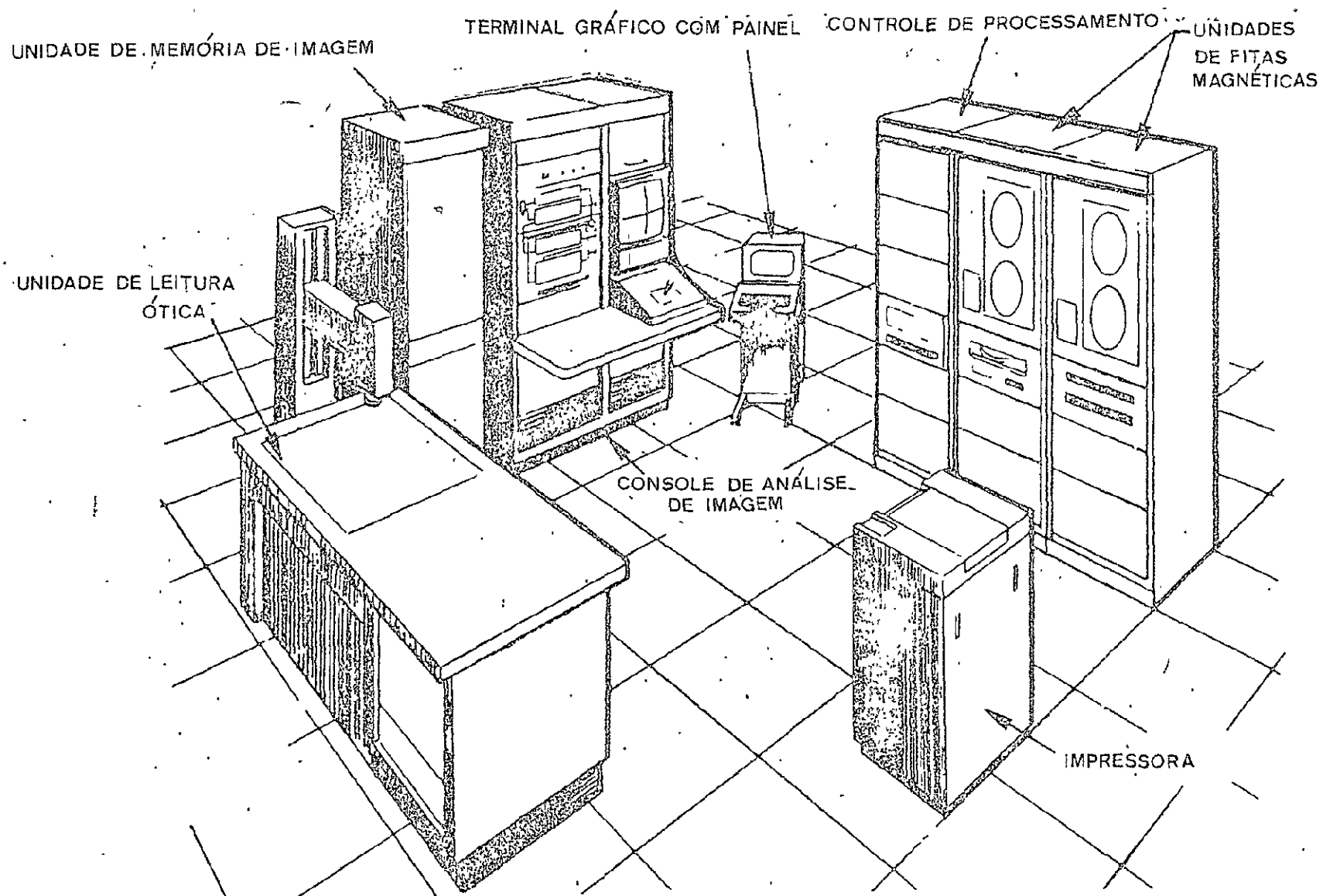


FIG. II-1 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA IMAGE 100

As classificações, no IMAGE-100, são de caráter interativo, podendo funcionar segundo um método supervisionado, onde o usuário fornece informações para o treinamento ou, pelo método não supervisionado obedecendo a dados de programação.

No esquema, da Fig. II.2, é mostrado o processo de obtenção das informações.

O sistema de entrada consiste em carregar a imagem (fitas digitalizadas ou transparências), a qual sofre operações de formatação e correção.

Dependendo das finalidades do usuário, ou do material utilizado, o analista pode efetuar primeiro operações de pré-processamento na imagem, o que irá melhorar as informações. Estas operações podem ser: reação de canais e entre canais, rotação espectral, correções radiométricas, melhoria de borda e outras.

Não julgando necessário o pré-processamento, selecionam-se diretamente áreas de treinamento, áreas estas que o usuário conhece previamente por informações de campo e que são representativas do tema a ser classificado. As áreas de treinamento são escolhidas visualmente, utilizando um dispositivo (cursos) que permite delimitar, na imagem projetada na tela da televisão, áreas de interesse, com variação de forma, tamanho e movimento. Após selecionada a área de treinamento, inicia-se o processo de aquisição de assinaturas.

Os resultados obtidos com a aquisição e modificações (Fig II.3) das assinaturas, são observados na televisão, onde o usuário decide a necessidade de utilizar operações de pós-processamento.

Após a avaliação dos resultados, o usuário poderá reentrar nas funções anteriores, para fazer o refinamento do resultado final.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

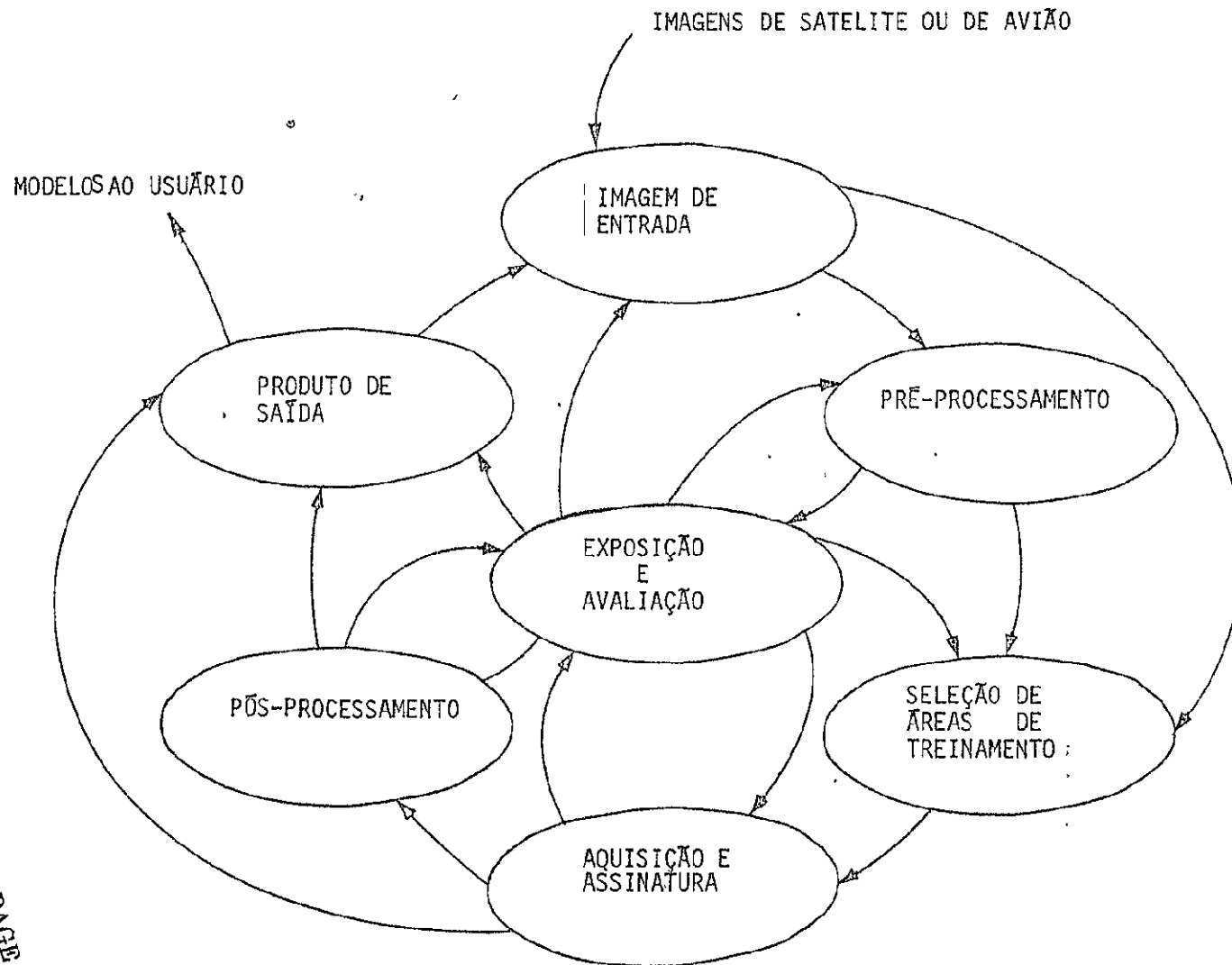


Fig. II,2 - Fluxo Funcional do IMAGE-100

O usuário pode, ainda, utilizar um grande número de variações de programas para execução de rotinas, que incluem desde pré-processamento. (eliminação de ruídos, correções radiométricas), até pós-processamento.

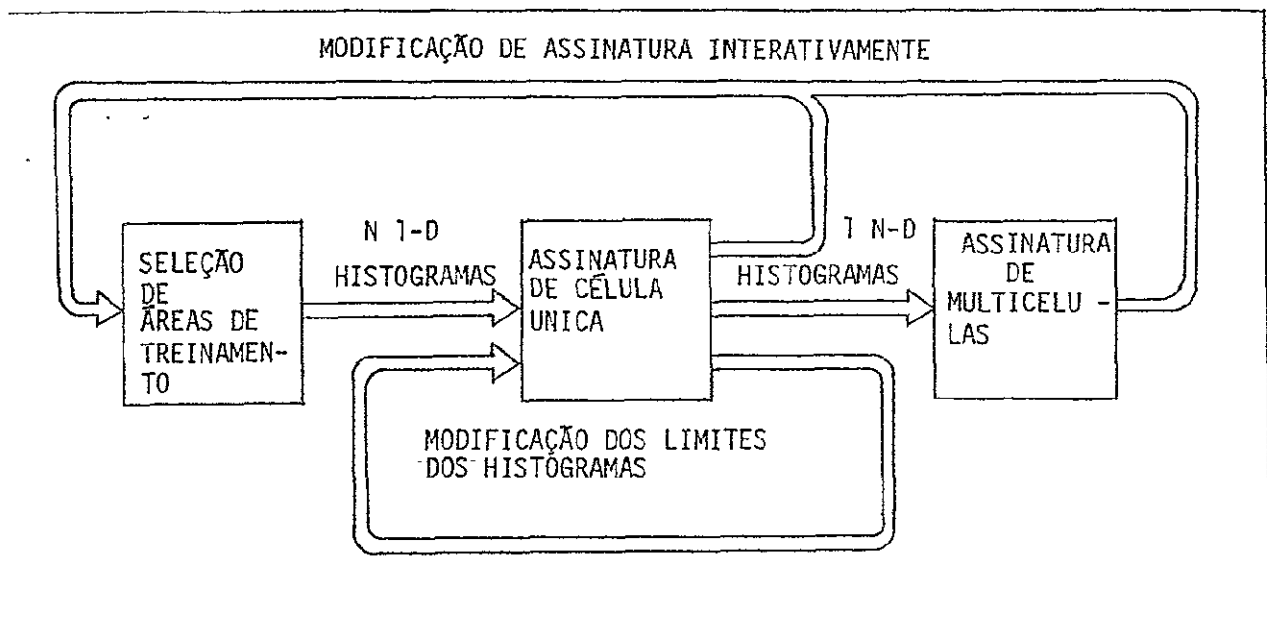


Fig. II.3 - Gráfico do fluxo de aquisição do histograma

## 2.4 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

As fotografias aéreas utilizadas foram adquiridas no Serviço Geográfico do Exército e fazem parte da missão de aerofotogrametria realizada pela United State Air Force (USAF), no território nacional. Os sobrevôos foram feitos a uma altitude de 9.000 m acima do nível do mar, utilizando câmaras métricas, com filme preto e branco na escala 1:60.000.

Foram empregadas, também, fotografias aéreas infravermelho falsa cor, da Missão Vazante, obtidas em setembro de 1975, com o sobrevôo da aeronave Bandeirante deste Instituto. Na realização da Missão foi utilizada uma câmara RC-10 com filme Aerochrome, com altitude de vôo de 12.500 pés, distância focal de 100 mm e linhas de vôo norte - sul obtendo os produtos na escala 1:21.000.

## 2.5 - MAPAS MAGNETOMÉTRICOS

Através do convênio de geofísica, Brasil-Alemanha, foi executado o levantamento aeromagnético de Minas Gerais cujos produtos, mapas de isoanômalas de intensidade total, foram publicados pelo Ministério de Minas e Energia, através do Departamento Nacional da Produção Mineral.

As medições aeromagnéticas foram obtidas adotando uma distância, entre perfis, de 2 Km, e 20 Km entre os perfis de controle.

A altitude de vôo foi, barometricamente, constante, variando em algumas partes da área entre 800 a 2.300m, dependendo da topografia. Os instrumentos empregados foram magnetômetros de precessão de protons com precisões de medidas de  $\pm 1$  gama.

Os mapas de isoanômalas de intensidade total, aqui empregados, correspondem a reduções e ampliações fotográficas nas escalas 1:1.000.000 e 1:100.000 respectivamente, obedecendo à divisão de carta internacional ao milionésimo e com os limites geográficos do Estado de Minas Gerais.

### CAPÍTULO III

#### MATERIAIS E MÉTODOS

##### 3.1 - MATERIAIS

No presente trabalho, utilizou-se grande parte dos da  
dos disponíveis desta área:

- Imagens LANDSAT - cópias em papel mate e brilhante, preto e bran  
co, dos quatro canais nas escalas 1:1.000.000, 1:500.000 e  
1:250.000, transparências positivas na escala 1:3.369.000 e fi  
tas CCT;
- Imagens RADAR-mosaicos fotográficos nas escalas 1:1.000.000 e  
1:250.000;
- Fotografias Aéreas - na escala 1:60.000 e 1:21.000, cópias em pa  
pel e transparências positivas.
- Mapas Magnetométricos nas escalas 1:1.000.000 e 1:100.000.

Os exemplos utilizados estão discriminados na Tabela  
III.1.

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED.

TABELA III.1  
IMÁGENS E FOTOGRAFIAS UTILIZADAS

DADOS	FONTE	DATA	ORBITA	PONTO	FORMA	ESCALA	Nº LANDSAT
	NASA	15.09.75	136	23	C.Papel	1:1000.000	E-1388
	INPE-NASA	20.09.73	136	23	"	"	E-1424
	INPE	28.07.73	136	23	"	"	E-173209
	NASA	15.08.73	136	24	"	"	E-1388
	INPE	15.08.73	136	24	"	"	L-173227
I	INPE-NASA	20.09.73	136	24	"	"	E-1424
	NASA	26.07.71	150	23	"	"	E-1065
M	INPE-NASA	29.07.73	150	23	"	"	E-1371
A	INPE-NASA	21.09.73	150	23	"	"	E-1425
	INPE	16.08.73	150	23	"	"	L-173228
G	INPE-NASA	21.09.73	150	24	"	"	E-1425
E	NASA	29.07.73	150	24	"	"	E-1371
	NASA	16.08.73	150	24	"	"	E-1389
N	INPE	15.03.75	150	24	T.Positiva	1:3.369.000	L-175074
	INPE-NASA	29.07.73	150	24	"	"	E-1371
S	INPE	15.03.75	150	24	CCT	"	L-175074
	NASA	09.09.72	164	23	C.Papel	1:1000.000	E-1048
	INPE-NASA	22.09.73	164	23	"	"	E-1426
	NASA	27.09.72	164	23	"	"	E-1066
	INPE	25.08.73	164	23	"	"	L-175237
L	NASA	09.09.72	164	23	"	1:500.000	E-1048
	NASA	09.09.72	164	23	"	1:250.000	E-1048
A	NASA	09.09.72	164	23	T.Positiva	1:3.369.000	E-1048
	INPE	12.07.73	164	23	"	"	L-173193
N	NASA	09.09.73	164	24	C.Papel	1:1000.000	E-1048
	NASA	27.09.72	164	24	"	"	E-1066
D	NASA	27.09.72	164	24	"	"	E-1426
S	INPE-NASA	22.09.73	164	24	"	"	L-175237
	INPE	25.08.75	164	24	"	"	E-1426
A	INPE-NASA	22.09.73	164	24	T.Positiva	1:3.369.000	E-1426
	INPE-NASA	18.08.73	178	23	C.Papel	1:1000.000	E-1391
T	NASA	31.07.73	178	23	"	"	E-1373
	INPE	15.06.75	178	23	"	"	L-175166
	NASA	31.07.73	178	24	"	1:1000.000	E-1373
	INPE-NASA	18.08.73	178	24	"	"	E-1391
	INPE	31.07.75	178	24	"	"	L-175166
	INPE-NASA	18.08.73	178	24	"	1:500.000	E-1391
	INPE-NASA	18.08.73	178	24	"	1:250.000	E-1391
	INPE-NASA	18.08.73	178	24	CCT	"	E-1391
	INPE-NASA	26.06.73	192	23	"	1:1000.000	E-1338
	INPE-NASA	19.08.73	192	23	"	"	E-1392
	INPE	31.07.75	192	23	"	"	L-275212
	INPE	06.09.73	192	23	"	"	L-173249
	INPE-NASA	26.06.73	192	24	"	"	E-1338
	INPE-NASA	19.08.73	132	24	"	"	E-1392
	INPE	31.07.75	192	24	"	"	L-275212
	INPE	06.09.73	192	24	"	"	L-173249

continuação da Tabela III.1

DADOS	FONTE	DATA	FORMA	ESCALA	OBSERVAÇÕES
IMAGENS DE RADAR	RADAM	1973	Fotoíndice	1:1.000.000	SE-23
	"	"	Mosaico	1:250.000	SE-23-X-A
	"	"	"	1:250.000	SE-23-X-B
	"	"	"	"	SE-23-X-C
	"	"	"	"	SE-23-X-D
FOTO- GRAFIAS AÉREAS	USAF	18.08.63	C.Papel	1:60.000	FX-104-A-nº 6409-6429
	"	23.08.64	"	"	FX-103-B-Nº 7457-7475
	"	30.08.64	"	"	FX-102-A-Nº 9369-9379
	"	"	"	"	FX-102-G-Nº 37674-37683
	"	12.07.64	"	"	FX-99-E- Nº 44922-44926
	"	25.07.64	"	"	FX-105-A-Nº 2791-2811
	"	31.07.64	"	"	FX-99C- Nº 4420-4431
	"	01-09-65	"	"	FX-101-D-Nº 56671-56690
	"	07-08-64	"	"	FX Nº 5374-5397
	INPE	22.09.75	T.Positiva	1:21.000	Linhas 9411-9439, 9441-9467, 9467-9491,
	INPE	23.09.75	"	1:21.000	Linhas 9343-9368



### 3.2 - MÉTODOS

O trabalho desenvolvido nesta área do norte de Minas Gerais é, na sua maior parte, de caráter qualitativo.

A abordagem da metodologia é voltada para a investigação geológica regional, através de imagens LANDSAT, acompanhada de outros sensores ou processos. Aplicaram-se técnicas de fotointerpretação convencional e interpretação automática em algumas áreas. O esquema geral de trabalho é apresentado em diagrama na Fig. III.1 e as etapas são descritas a seguir.

#### 1.0 - Aquisição de imagens e bibliografia

A repetitividade das Imagens LANDSAT e a grande quantidade do acervo bibliográfico, permitem sempre uma nova retomada desta etapa. Ela consta de duas fases paralelas: Coleta das imagens e da bibliografia.

A primeira consiste na seleção de imagens, a partir de fotoíndices ("quick-look") e listagens do banco de dados, observando-se nestas fontes, a cobertura de nuvens, qualidades geométricas e radiométricas dos quatro canais das imagens LANDSAT. A aquisição inicial, em cópias de papel preto e branco na escala 1:1.000.000, segue as especificações normais do laboratório de processamento fotográfico. Nas aquisições subsequentes, já se começa a estabelecer certos padrões para as cópias fotográficas, tais como, escala, contraste, tipo de papel fotográfico. O imageamento pelo satélite LANDSAT, em quatro anos, fornece uma coleção bastante grande de cenas, podendo-se selecionar imagens de diferentes épocas do ano, nos diferentes anos, quanto à cobertura de nuvens, ângulo de elevação do sol, fenômenos sazonais (estação seca, estação de chuva), que exerçam influência na análise das mesmas.

A bibliografia é um dos fatores básicos para o trabalho de análise das imagens, durante todas as fases de trabalho. Efetuou-se uma coleta constante, para atualização permanente sobre as informações a cerca da área de estudo. Isto foi possível através do banco de dados do Instituto, Universidades, Ministérios, empresas privadas etc.

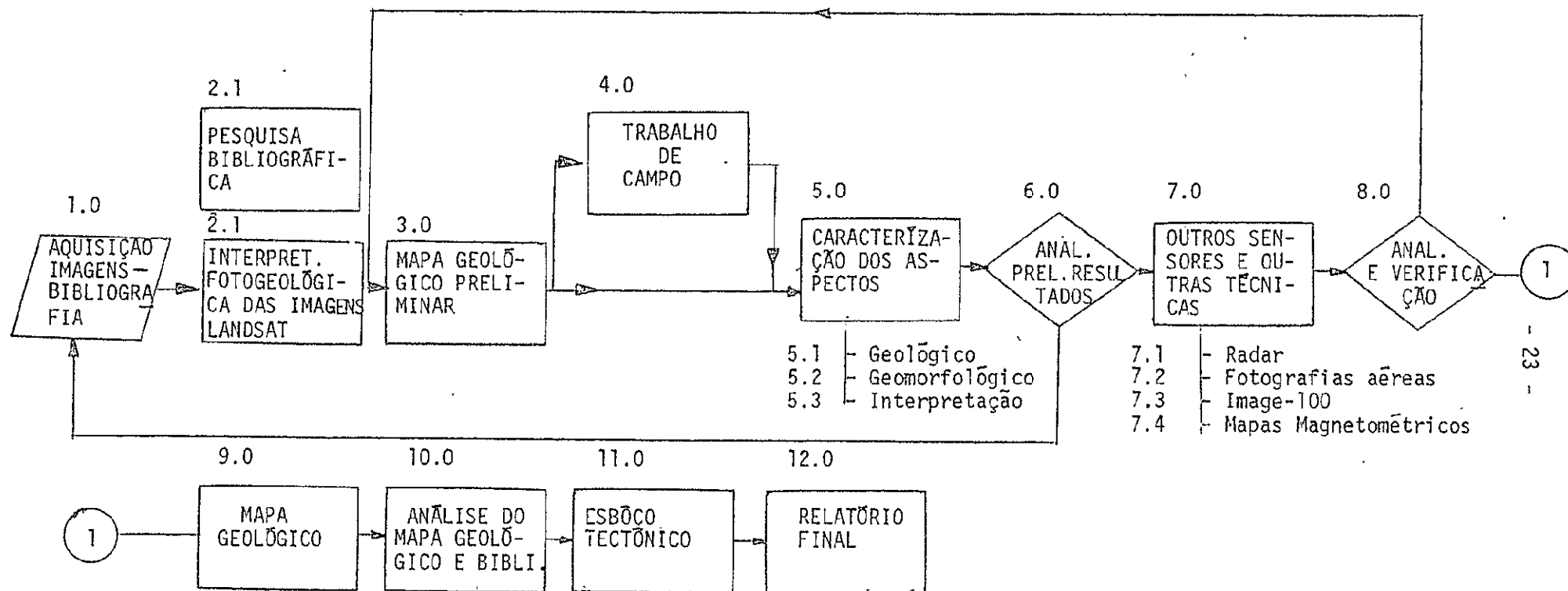


Fig. III.1 - Diagrama de Fluxo de Trabalho

## 2.0 - INTERPRETAÇÃO FOTOGEOLÓGICA DAS IMAGENS LANDSAT

O sistema de varredura multispectral, do LANDSAT fornece informações, que permitem a comparação entre a reflectância dos alvos, em quatro intervalos de comprimento de onda do espectro eletromagnético.

Na interpretação das imagens, como nos métodos de info to interpretação convencional, utilizaram-se feições de tonalidade, tex tura, padrão de drenagem e feições morfológicas para identificação das unidades. A utilização destes critérios merece uma nova atenção quando se trabalha com imagens em nível orbital, com pequena escala e discrimi nação espectral, como descreveremos a seguir:

Os tons de cinza nas imagens são dependentes das carac terísticas de reflectância do terreno, da banda espectral, e do siste ma de registro os quais, em papel fotográfico, são colocados em uma es cala de até dezesseis níveis para cada canal.

A textura, nas imagens, corresponde a um arranjo de elementos tonais. Em função do nível de coleta de informações, no caso orbital, o conjunto formado pelos canais de drenagem, ou morfologia por exemplo, não permitem, muitas vezes, caracterizar um padrão de drena gem ou feição morfológica e sim, apenas, uma textura diferindo, portanto, o conceito para níveis de trabalho mais convencionais (ver p.e. CARTER 1974 pp. 193).

Como padrão de drenagem, sempre se considerou o arcabou ço formado pelos rios e seus tributários, independente de serem os seus cursos intermitentes ou não, importante o arranjo formado pelos mesmos na imagem.

As feições morfológicas, quando não traduzidas por uma textura, correspondem, nas imagens, a modelados de relevo de grande ex

pressão no terreno. As feições, em termos de configuração geral da su  
perfície, servem como associação espacial na interpretação das unidades  
e estruturas.

Nas imagens, estamos analisando vegetação, solo e ro  
cha exposta, ou interações destes alvos. Conhecendo o comportamento es  
pectral de cada um deles, nos quatro canais, podemos comparar as ban  
das entre si e estabelecer uma relação para as mesmas.

Na fotointerpretação, as imagens dos canais 5 e 7 fo  
ram as mais empregadas, devido as características que apresentamos a  
seguir:

- O Canal 4 abrange as regiões de comprimento de onda corresponden  
tes ao verde e a amarelo do espectro. Nele o elemento principal de iden  
tificação dos alvos é o tom fotográfico, embora não apresente contras  
te suficiente para delimitá-los com precisão. Devido à própria posiçã  
o que ocupa no espectro, este canal não mostra a mesma utilidade que  
os demais apresentando pobreza de textura, ficando as feições morfologi  
cas e estruturais pouco salientadas. As estradas, quando não pavimentadas,  
são nítidas, auxiliando a orientação de feições, que identificadas  
nos demais, aqui podem ser confrontadas.

- O canal 5 opera, também, no visível, na região do laranja  
ao vermelho, e muito se aproxima das fotografias aéreas convencionais. O  
tom fotográfico é um critério bem seletivo neste canal. Pelo fato de  
apresentar um maior "contraste", permite delimitar melhor as unidades  
e facilmente identificar a drenagem, especialmente aqueles tributários  
dotados de mata galeria. As feições de uso da terra e os sistema viã  
rios apresentam contrastes que dão limites nítidos. Falhas, fraturas, li  
neamentos e unidades geológicas alinhadas, e ou associadas a vegeta  
ção, são facilmente identificadas.

O canal 6, que cobre parte do visível e do infravermelho, embora o tom fotográfico também seja o critério principal para a individualização das unidades, só permite separar áreas com morfologia e vegetação bem distintas. A drenagem com rios perenes destaca-se graças à faixa espectral ocupada, permitindo uma delimitação com maior densidade. As estruturas em geral e grandes lineamentos podem ser identificadas com certa facilidade, porém não tão bem realçados quando comparadas com o canal 7.

O canal 7, infravermelho próximo, é o que possui um intervalo espectral maior que os anteriores. Nele as feições texturais e geomórficas são bastante salientadas, o que muito ajuda na identificação de unidades e estruturas. A vegetação, que nesta região do espectro dá maior reflexão, faz com que geralmente as imagens, neste canal, apresentem tons de cinza claros. A drenagem permanente é denunciada pela absorção causada pela água neste comprimento de onda. A textura é um elemento bem discriminativo das unidades, permitindo que a individualização entre elas seja marcada pela pouca uniformidade entre os alvos. Aspectos morfológicos e estruturais apresentam-se com um maior destaque, permitindo um critério mais seguro e quantitativo dos mesmos.

Na interpretação das imagens esboçou-se toda a drenagem perceptível na escala de trabalho, para a análise posterior. Em cada imagem elaborou-se um "overlay" de drenagem separado, utilizando-se dois canais (5 e 7) em cada "overlay". O canal 7 permitiu retirar-se os cursos principais, e o canal 5 permitiu a complementação da rede. A drenagem, aliada com as outras feições, auxiliou a identificação de unidades fotogeológicas e estruturais.

As feições morfológicas foram analisadas principalmente no canal 6 e 7. Estes mesmos canais também foram muito importantes na identificação das estruturas.

A combinação destas diferentes características, aliadas aos critérios de fotointerpretação, levaram à individualização das unidades nas imagens. A identificação de uma unidade, em um canal, foi confrontada com as demais e delimitada naquele canal que apresentava contatos mais nítidos. Assim, num "overlay" obtiveram-se unidades e estruturas, extraídas de diferentes canais. Para melhor visualização das características fotogeológicas, trabalhou-se, também, em mosaicos das imagens que permitiram estudar-se a continuidade das litologias e estruturas.

A aplicação de sensores multiespectrais, dentro do intervalo entre 0.5 e 1.1  $\mu\text{m}$ , mostram diferentes preferências a porções deste intervalo, dependendo das aplicações disciplinares e finalidades das mesmas. Assim, na área de aplicação, para mapeamento geológico regional, houve uma preferência para as bandas entre 0.6-0.7  $\mu\text{m}$  e 0.8 e 1.1  $\mu\text{m}$ , correspondendo aos canais 5 e 7 do LANDSAT, processados pela NASA. Esta preferência é dependente do ano do processamento da imagem e da época do ano.

## 2.1 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica, no trabalho, recebeu uma atenção bastante grande. A maior parte da bibliografia pesquisada está orientada sem a visão sinóptica de extensas áreas, que as imagens LANDSAT permitem. Muitas vezes são estabelecidas conclusões locais, que, em confronto com a análise das imagens, numa abordagem regional, podem ser ampliadas, limitadas ou, até mesmo abandonadas.

O estabelecimento de conceitos puramente a partir das imagens LANDSAT, sem a consideração da literatura geológica disponível, pode criar uma proliferação taxionômica muito grande, fugindo totalmente aos objetivos deste trabalho, que visa a integração de todos os dados, modificando-os, ou reinterpretando-os, a fim de adequá-los, ao aspecto regional das imagens. Nas publicações, relatórios, mapas etc, pro

curou-se sempre levar em conta a convergência das idéias, neles contidas, com os trabalhos de campo e a análise das imagens. Feições observadas somente em uma destas fontes foram alvo de uma retomada da bibliografia e também do trabalho de campo e da análise das imagens.

Todas as unidades geológicas, individualizadas, estão aliadas a um suporte bibliográfico, que as definam, descrevam ou até mesmo delas divirjam. Entretanto, tais divergências podem tornar-se inconsistentes, face a imagens ou trabalhos de campo, ou a uma nova análise bibliográfica.

A pesquisa bibliográfica serviu como diretriz, durante todo o trabalho, tanto associativa como indicativa.

### 3.0 - MAPA GEOLÓGICO PRELIMINAR

Utilizando, como base, a folha ao milionésimo do IBGE (1972), transferiu-se a interpretação dos "overlays" individuais para esta base, associando, no mapa resultante, as unidades de fotointerpretação às unidades geológicas. Tendo-se uma visão preliminar do panorama geológico e estrutural, elaborou-se a coluna geológica. O confronto com mapas pré-existentes permitiu seleccionar, neste mapa, os pontos que deveriam receber maior atenção durante o trabalho.

Este mapa teve um caráter bastante dinâmico no decorrer do trabalho. Foram introduzidas as modificações resultantes das observações de campo, de novas fotointerpretações, estudos em outros sensores e resultados de outros métodos de pesquisa.

### 4.0 - TRABALHO DE CAMPO

A partir do mapa preliminar, efetuou-se durante os trabalhos de campo, uma verificação das unidades e estruturas identificadas

imagens. As observações de campo, basearam-se em perfis efetuados ao longo das estradas, fazendo-se a descrição das litologias, estruturas, solos, vegetação e tomada de medidas quando necessário. Nos trabalhos de campo, em bora em nível de reconhecimento, foram percorridos cerca de 4.400 Km, com a descrição de mais de 600 pontos.

## 5.0 - CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS

O trabalho, nesta área, tornou necessário estabelecer diretrizes, para melhor analisar os resultados dos sensores e, também, estudar os fatores de mais importância, na identificação e associação das unidades nos mesmos.

Em mapeamento geológico regional, três problemas fundamentais devem ser levados em consideração:

- (1) - Problemas de natureza essencialmente geológica.
- (2) - Problemas de natureza essencialmente geomorfológica.
- (3) - Problemas de natureza essencialmente interpretativa.

Descrevemos a seguir estes principais aspectos, aos quais se deu atenção neste trabalho.

### 5.1 - ASPECTO DE CARÁTER GEOLÓGICO (1)

Este aspecto refere-se àquelas unidades de natureza geológica complexa - complexidade incipiente da unidade, ou de sua forma de afloramento e ou jazimento ficando seu melhor conhecimento dependente de trabalhos mais detalhados ou sofisticados (p.ex. sondagens, geofísica, etc). A divisão do Grupo Bambuí, por exemplo, em certas áreas, torna-se impossível com dados somente superficiais, ou não pode ser feita, devido a grande variação litológica vertical e horizontal, ou à complexidade estrutural.

Portanto a complexidade geológica de uma unidade pode tornar difícil a sua identificação através do sensor.



## 5.2 - ASPECTO DE CARÁTER GEOMORFOLÓGICO (2)

Em muitos casos as litologias estão superficialmente dissimuladas, devido ao intemperismo ou à ação de processos erosivos, atenuando o relevo, ou recobrando-os de detritos, dificultando a separação de unidades e subunidades, independente de sua natureza geológica, seja complexa ou não.

As diferenças de resistência à erosão, entre unidades, por exemplo, podem ser tão pequenas, que os sensores não consigam resolve-las. Assim escarpas e patamares, que signifiquem contatos geolôgicos, não são observáveis, ou ao contrário são identificáveis, porêm tenham um significado essencialmente geomorfológico, correspondendo a uma mesma unidade geológica.

As coberturas lateríticas, por vezes, estão sobrepostas a unidades geológicas, mascarando o contato entre as mesmas.

Estes aspectos geomorfológicos, citados, concorrem, certas vezes, para uma proliferação ou, em outros casos, para a redução das unidades geológicas até então conhecidas. Foram considerados, a escala, o sensor e a visão estereoscópica, na caracterização dos aspectos de dependência eminentemente geomorfológica.

## 5.3 - ASPECTO DE CARÁTER INTERPRETATIVO (3)

Em trabalhos de mapeamento geológico regional, de grandes áreas, o estabelecimento ou omissão de unidades e relações de contato, tornam-se dependentes da identificação e interpretação, nos produtos de sensoramento remoto, das análises bibliográficas, das verificações de campo (verdade terrestre), ou da convergência destas variáveis. A instituição de uma destas variáveis como decisiva é uma atitude de caráter interpretativo, ficando o seu estabelecimento a critério do autor.

Os fatores mais frequentes, que contribuem para os aspectos de caráter interpretativo, provêm da dificuldade ou finalidade de identificação das feições através do sensor, visão sinóptica, escala de execução do trabalho, generalização de princípios estabelecidos em modelos restritos, correlações, redivisões de validade local etc.

A validade da aplicação, de um determinado sensor, pode ficar, muitas vezes, comprometida com a inferência estabelecida. No trabalho, tentou-se a integração regional da geologia, utilizando-se uma interpretação adequada as características de escala e visão sinóptica do sensor, justificando o critério de inclusão ou exclusão das feições observadas.

#### 6.0 - ANÁLISE PRELIMINAR DOS RESULTADOS

Esta análise foi feita estando, a "priori", caracterizando os aspectos, para saber-se o tipo de decisão a ser tomada. A melhoria dos resultados tomou dois caminhos nesta etapa. O primeiro constituiu-se na reinterpretação das imagens, análise de novas imagens ou ampliações das mesmas, retomada da pesquisa bibliográfica e outras observações de verdade terrestre. Esta primeira realimentação envolveu somente imagens do sensor MSS do LANDSAT. O segundo constituiu-se na utilização de outros sensores e outras técnicas.

#### 7.0 - OUTROS SENSORES E OUTRAS TÉCNICAS

Neste estágio do trabalho, através de interpretação de fotografias aéreas, imagens de RADAR, mapas magnetométricos e análise de dados do IMAGE-100, foi possível equacionar aspectos pendentes das etapas anteriores, como também obter fortes subsídios, para a reinterpretação das imagens LANDSAT.

O conhecimento prévio, adquirido no trabalho com as imagens LANDSAT, serviu para auxiliar a análise feita com estes sensores.

## 7.1 - RADAR

A interpretação das imagens de RADAR teve, como finalidade, a utilização do potencial deste sensor, para a obtenção de dados adicionais no mapeamento regional. Neste sentido, procurou-se com base nas características e propriedades espectrais das imagens, estabelecer as vantagens peculiares do sistema, para a delimitação de unidades e estruturas, bem como os fatores e critérios interpretativos, que influenciaram no mapeamento geológico.

Das imagens de RADAR, o fotoíndice na escala 1:1.000.000 foi utilizado para a obtenção da drenagem, contatos litológicos e estruturas. Serviu, também, como base de referência para transferir os dados extraídos dos mosaicos semi-controlados, na escala 1:250.000, permitindo maior uniformização dos mesmos.

Os mosaicos semi-controlados, devido a sua maior escala, foram os mais utilizados na interpretação de RADAR, obtendo-se uma melhor precisão dos contatos, detalhes morfológicos e discriminação das estruturas.

Na análise deste sensor foram empregados vários parâmetros, que auxiliaram a separação das unidades, tais como: escala de tons de cinza, discriminação da diferença textural, efeitos de borda, relação dos aspectos associados e características dos alvos, em função da sua distribuição e modo de ocorrência.

Analisando estes parâmetros, e utilizando a combinação textura-tonalidade e características morfológicas, foi possível estabelecer critérios de interpretação das referidas unidades, bem como adicionar novos dados ao trabalho.

## 7.2 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

Durante o trabalho realizado foram utilizados cerca de 120 fotografias aéreas, cópias preto e branco em papel. Estas fotografias, na escala 1:60.000, abrangeram a região a oeste de Vazante, até a serra dos Pilões, englobando as cidades de Santo Antonio do rio Verde de Goiás, a sul, e Guarda Mor a norte.

A interpretação das fotografias aéreas teve como objetivo servir de área teste do trabalho.

As finalidades principais nesta área teste foram:

- estabelecer padrões para a fotointerpretação das imagens LANDSAT
- estudar as relações de contato e a distribuição de certas unidades.
- seleccionar áreas de treinamento e auxiliar na supervisão, para a interpretação automática através do analisador IMAGE-100.

Com base nos métodos convencionais de fotointerpretação, elaborou-se um estudo pormenorizado das diferentes sequências a florantes, confeccionando-se mapa de drenagem e geológico. Os mapas, na escala original 1:60.000, foram posteriormente reduzidos para a escala de 1:100.000.

Os padrões de drenagem, de interpretação das unidades, o tipo de contato entre as mesmas, e o estudo da continuidade delas na área teste, foi estendido para a delimitação das unidades e estruturas nas imagens LANDSAT. Este estudo foi aproveitado, com grande utilidade também, para caracterizar aspectos geológicos e geomorfológicos.

O estudo da área teste foi bastante auxiliado pela

visão estereoscópica que os pares permitem, tanto em "side-lap" como em "overlap". Ficaram beneficiadas, especialmente, aquelas unidades em que o contato se dá com pequeno exagero da diferença de nível topográfico. Em certos casos, unidades com a mesma cobertura vegetal, porém, separadas por uma escarpa vertical, coalescem em escalas menores, sendo sua distinção somente possível com visão estereoscópica.

Nas regiões encobertas por extensas crostas lateríticas, que formam chapadões com escarpas verticais, através da visão estereoscópica, observando-se as vertentes dos vales, identificou-se as litologias subjacentes a estas crostas, que mascaram as litologias e estruturas (a análise difícil nas imagens LANDSAT, devido à própria escala e à falta de visão estereoscópica, principalmente em regiões de escarpas abruptas, em que, a cobertura vai até a borda das chapadas). Este estudo, praticamente, foi feito ao longo dos vales dos rios e das ravinas entalhadas nos chapadões, podendo-se observar litologias e estruturas ali aflorantes.

A seleção das áreas teste e áreas de treinamento, para estudos no analisador IMAGE-100, foi feita previamente a partir das fotografias aéreas. Acompanhou-se, com os mapas resultantes, a identificação dos alvos na televisão do analisador, cujo trabalho, também, foi realizado na mesma escala aproximada de 1:100.000.

A área estudada com estas fotografias aéreas corresponde a uma região bastante conhecida, através de missões de verdade terrestre e com acesso bastante facilitado.

As fotografias aéreas, infravermelhas, correspondem a cinco linhas de voo sobre a região de Paracatú, abrangendo um total de 104 fotografias na escala de 1:21.000. O sobrevoo atinge, desde 20 Km a norte de Paracatu até o distrito de Morro Agudo (MG).

A finalidade da utilização destas fotografias, infravermelhas, foi para identificar-se ocorrências de calcário. O trabalho foi realizado nas transparências falsa cor em mesa de luz. As ocorrências, já

identificadas nas imagens LANDSAT, foram conferidas nestas transparências e as novas descobertas foram extrapoladas para as imagens.

### 7.3 - ANALISADOR MULTIESPECTRAL IMAGE-100

A finalidade de pesquisa em imagens LANDSAT, no analisador IMAGE-100, foi uma tentativa de estudo desta técnica de interpretação, como auxiliar em mapeamento geológico regional.

O trabalho desenvolvido teve duas formas distintas de abordagem: uma voltada para o estudo das assinaturas espectrais das unidades e com resultados não tão imediatos; a outra, com resultados mais imediatos, voltada para a identificação das unidades e feições, através das técnicas de interpretação automática (classificação simples, multi-célula, "slicer" etc), que trouxeram informações adicionais, úteis, ao trabalho, até então executado com interpretações visuais.

Foram empregadas, para o trabalho no analisador, imagens LANDSAT sob duas formas de entrada: fitas CCT e transparências positivas 70 mm.

#### ESTUDO DE ASSINATURAS DAS UNIDADES

A preocupação inicial do trabalho no IMAGE-100, com a finalidade proposta, foi quanto à expressão (ou extensão) das assinaturas das unidades nas imagens.

Através de fitas CCT, e baseado nas imagens LANDSAT, fotografias aéreas e mapas geológicos, selecionaram-se diferentes porções da imagem, aqui denominada áreas de estudo, ou áreas testes (ver Fig. III.2)

Estas áreas de estudo foram sempre escolhidas com um tamanho uniforme e na escala "completa", ou seja extraíram-se da fita CCT, sempre áreas com 512 pixels por 512 pixels, não se modificando os dados originais, por acréscimo ou por perda, visando obter a máxima informação radiométrica contida na fita, ficando, também, as áreas "geométrica e estatisticamente" corretas.

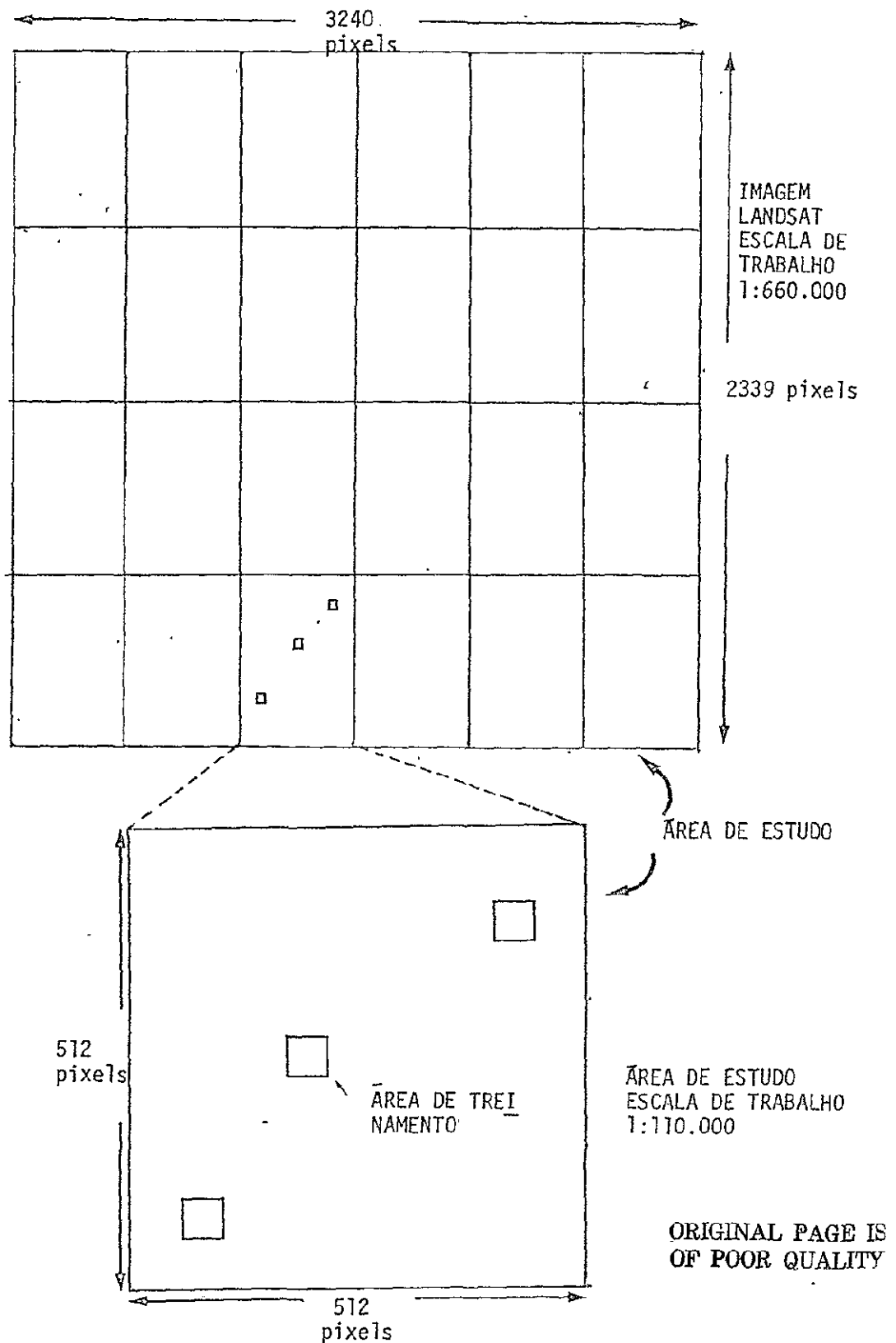


Fig. III.2 - Modelo de divisão de imagens para estudo no IMAGE-100

Dentro destas áreas de estudo (áreas teste), para cada unidade, foram feitas várias áreas de treinamento, as quais sempre tiveram um tamanho constante.

A dimensão (nº de pixels), destas áreas de treinamento, obedeceu uma escolha arbitrária justificada, porém dentro de certos limites (limite mínimo teórico igual a  $n + 1$ , onde  $n$  = número de canais desejável de  $20n$  a  $100n$  - KUMAR, 1975). Evitou-se tomar uma área de treinamento maior que a adotada, para se ter certeza de recobrir somente a unidade de estudo, evitando englobar parte ou todo, de outros alvos.

Em cada área de estudo, nos quatro canais da imagem, foram extraídas as assinaturas (histogramas), correspondentes às várias áreas de treinamento de uma mesma unidade, anotando-se os seus parâmetros (limites inferior e superior, intervalo de variação, pico, média e variância). Obteve-se, paralelamente, a listagem dos pixels englobados em cada área de treinamento. Com os dados da listagem, elaboram-se os histogramas da amostra (unidade), para cada canal, em escala diferente do terminal gráfico (Fig. III.3). No passo seguinte executaram-se classificações sucessivas da mesma unidade ou amostra, com áreas de treinamento distintas, armazenando os resultados nos temas. Compararam-se estes resultados, armazenados em temas, verificando-se as suas superposições. Obteve-se assim, através da inspeção visual das superposições e pela análise dos parâmetros dos histogramas (intervalo de variação, variância, limites), uma avaliação da expressão da assinatura daquela unidade, na área teste. Repetiu-se o método para outras áreas de estudo, definindo-se dois tipos de expressão de assinatura das unidades ou amostras.

Unidades com assinatura de expressão local - quando se compararam diferentes áreas de treinamento, de uma mesma unidade, dentro de uma área de estudo. Nesta categoria, incluíram-se as unidades cujas características espectrais mostram continuidade geográfica restrita à área de estudo. A continuidade, está na dependência de vários fatores, como mudança de solo, vegetação, drenagem etc.



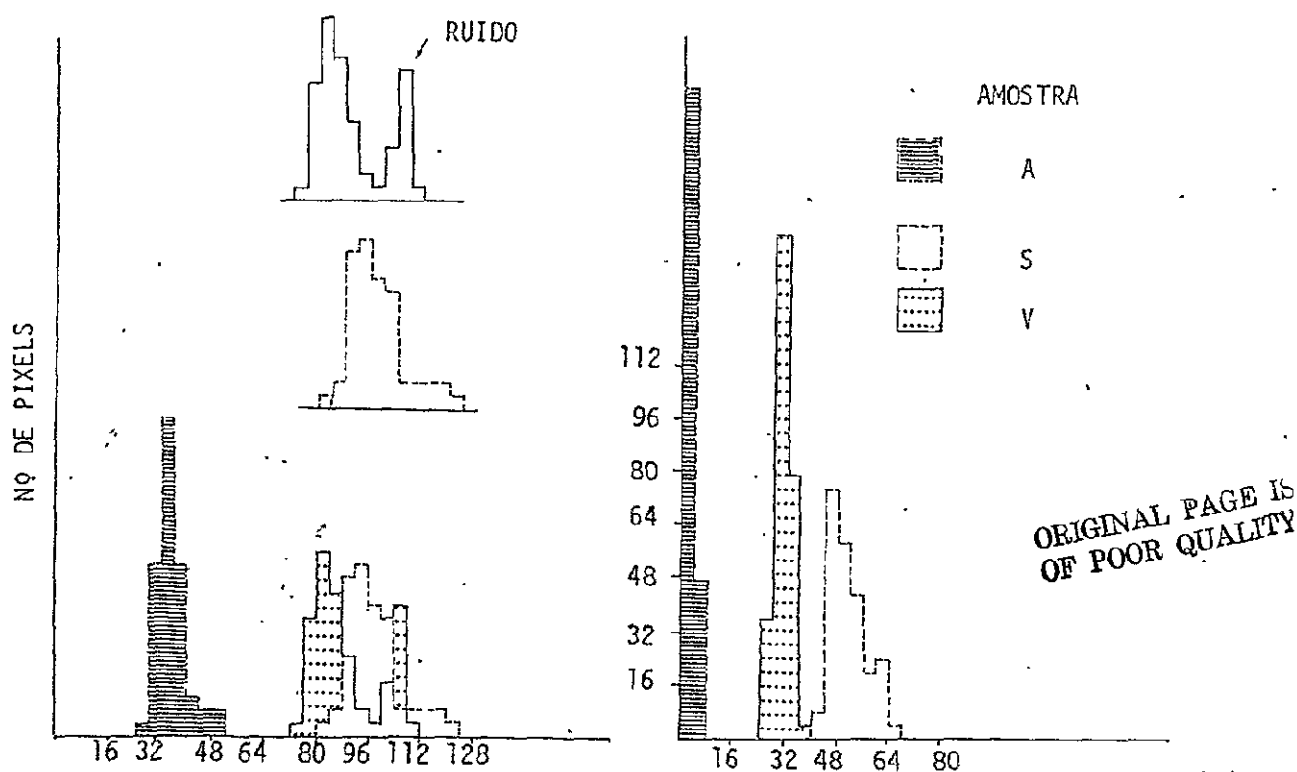
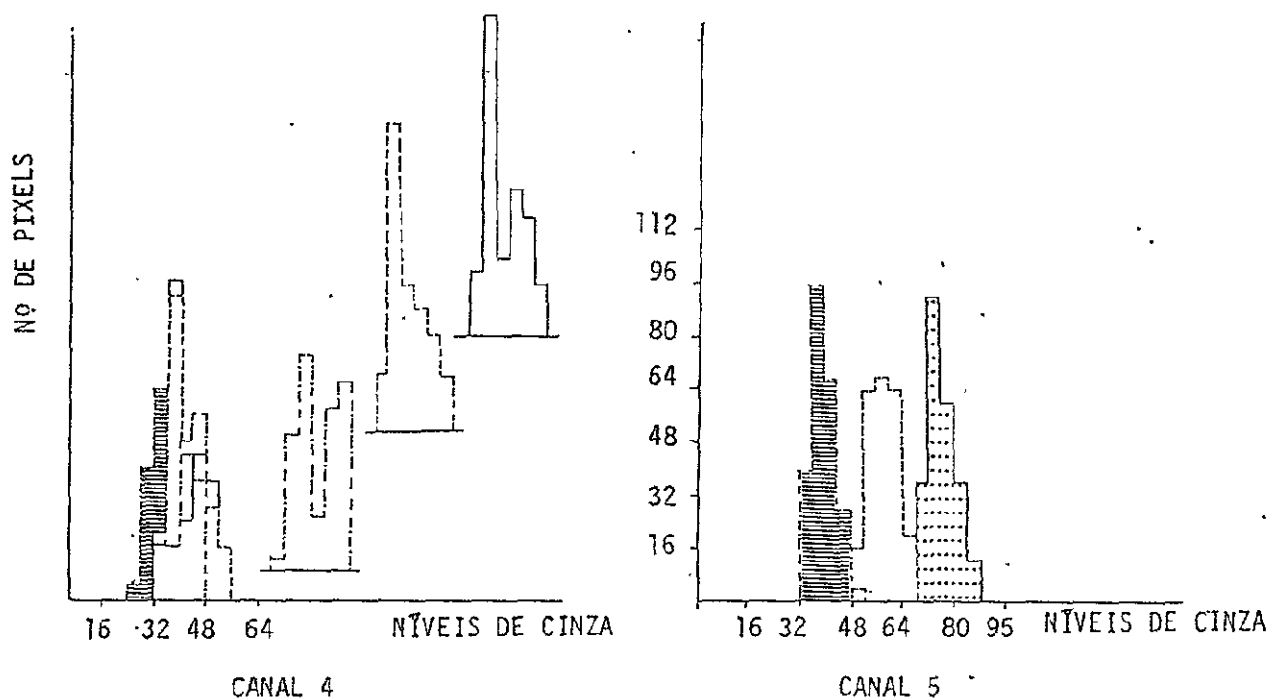


Fig. III.3 - Exemplo de histogramas das respostas de tres amostras (A-AGUA, S-SOLO, V-VEGETAÇÃO) extraídos de fitas CCT do LANDSAT. Nos canais em que houve superposição dos histogramas (4 e 6) repetiu-se os mesmos separados.

No exemplo da tabela III.2, os valores correspondem a duas áreas de treinamento de uma mesma unidade, na mesma área de estudo. Os histogramas correspondentes estão na Fig. III.4

TABELA III.2

DADOS DOS HISTOGRAMAS DAS AMOSTRAS CAN 5 E CAN 6

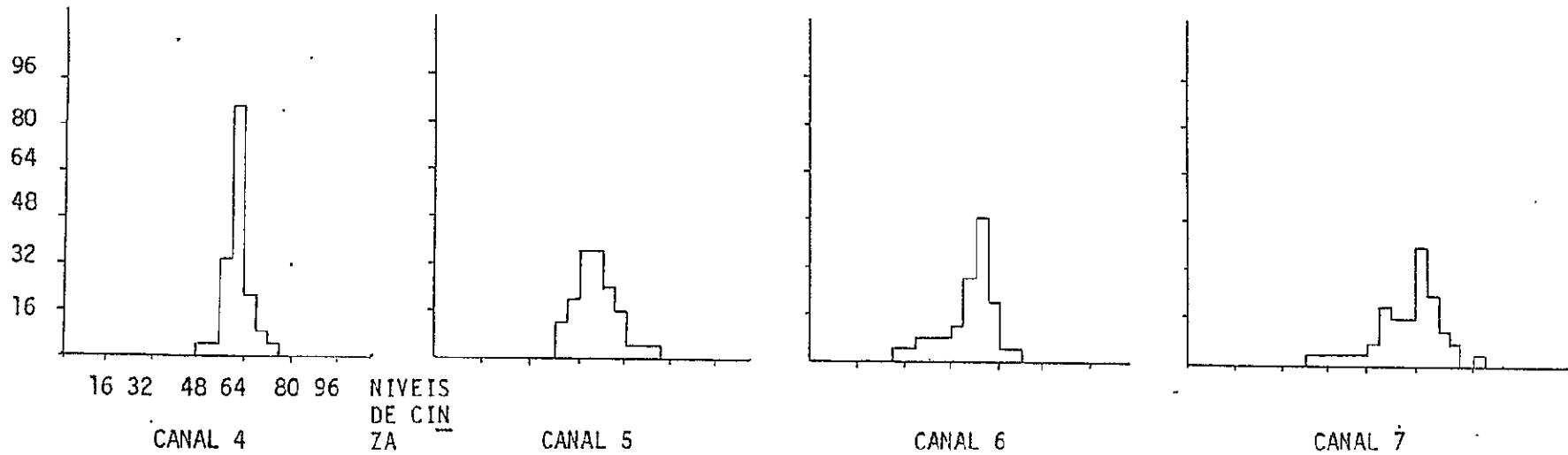
AMOSTRA	CANAL	LI	LS	DELTA	PICO	MEDIA	VARIÂNCIA
CAN-5	4	24	35	12	51	29.1	4.0
	5	20	37	18	32	26.5	10.0
	6	15	53	39	48	27.7	29.0*
	7	13	49	37	36	36.3	37.4
CAN-6	4	24	35	12	74	27.5	3.9
	5	19	34	16	38	23.5	8.2
	6	16	52	37	32	26.9	19.4*
	7	13	50	38	42	39.0	15.6

OBS: LI = limite inferior

LS = limite superior

Unidades com assinatura de expressão global - quando se comparam diferentes áreas de treinamento, de uma mesma unidade, em outras áreas de estudo. Nesta categoria incluem-se as unidades com assinaturas expressivas em área, mesmo com variação geográfica bastante significativa. Na tabela III.3, os valores correspondem a duas áreas de treinamento de uma mesma unidade, em áreas de estudo distintas. Os histogramas correspondentes estão na Fig. III.5.

# AMOSTRA CAN 5



# AMOSTRA CAN 6

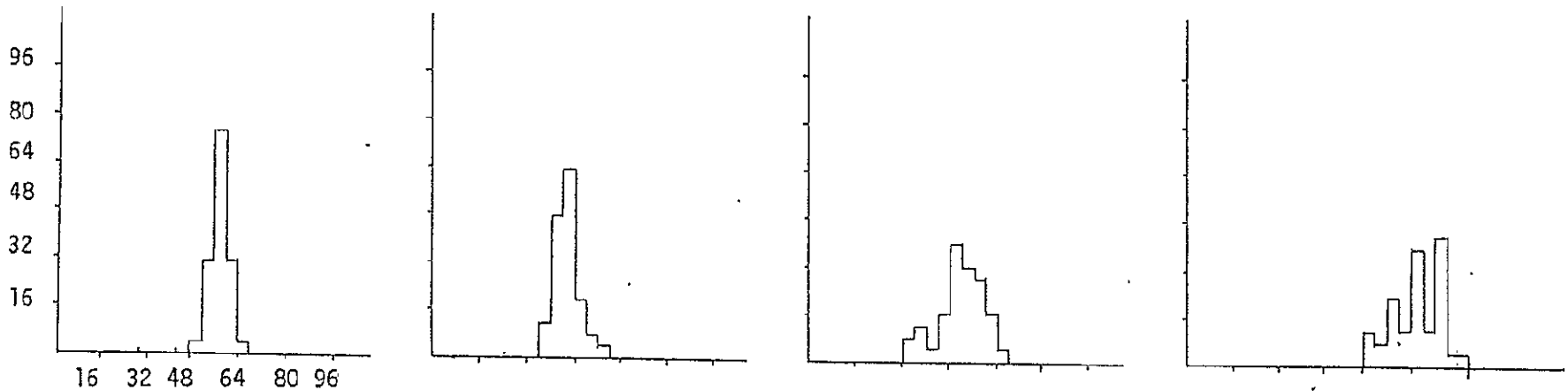


Fig. III. 4 - Histogramas esquematicos das "assinaturas" das amostras a CAN E CAN-6. (eixo das ordenadas. n° de pixels, eixo das abcissas: níveis de cinza)

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

TABELA III.3

DADOS DOS HISTOGRAMAS DAS AMOSTRAS LAT 3 E LAT 5

CANAL	LI	LS	DELTA	PICO	MEDIA	VARIÂNCIA
4	22	28	7	66	24.9	1.8
5	17	24	8	85	21.1	1.4
6	14	26	13	43	21.1	10.9*
7	22	33	12	68	27.1	3.7
4	22	27	6	80	22.4	1.6
5	16	22	87	79	19.4	1.1
6	16	29	14	40	22.8	11.2*
7	22	36	15	54	27.7	6.1

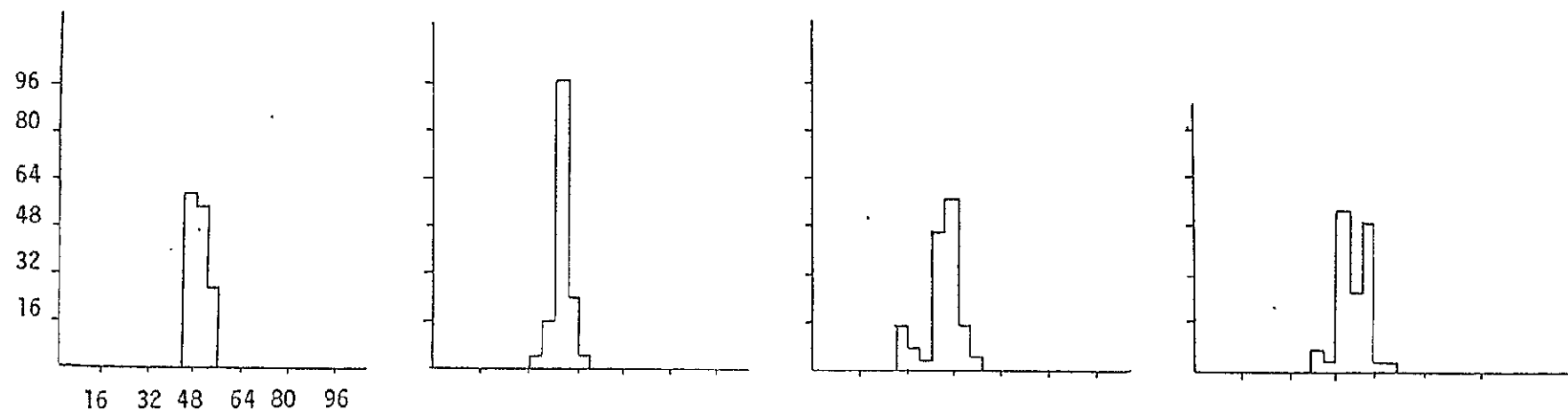
\* Os valores de variância do canal 6, são elevados devido ao ruído.

Ocorreram, também, amostras que não possuíam nem mesmo expressão local.

Este estudo das assinaturas das unidades (amostras serviu para estabelecer critérios ou parâmetros durante a classificação das mesmas. Assim, as amostras (ou unidades) de expressão global na imagem, podem ter sua classificação estendida para as demais porções, esperando-se, previamente, resultados significativos.

A expressão da assinatura de uma unidade, como proposta, corresponde à continuidade da vegetação, solo e ou litologia. Uma unidade que mostra rocha exposta, por exemplo, com assinatura espectral expressiva (expressão local ou global), pode indicar a continuidade do mesmo tipo de rocha, ou mesmo tipo de exposição em outras áreas. (dependendo da expressão da assinatura) (vide Raines, 1975, e Fig. III.6) Portanto, conhecida, a expressão de assinatura da amostra, através dos resultados de classificações da mesma, pode-se avaliar o seu comportamento em outras áreas.

# AMOSTRA LAT 3



# AMOSTRA LAT 5

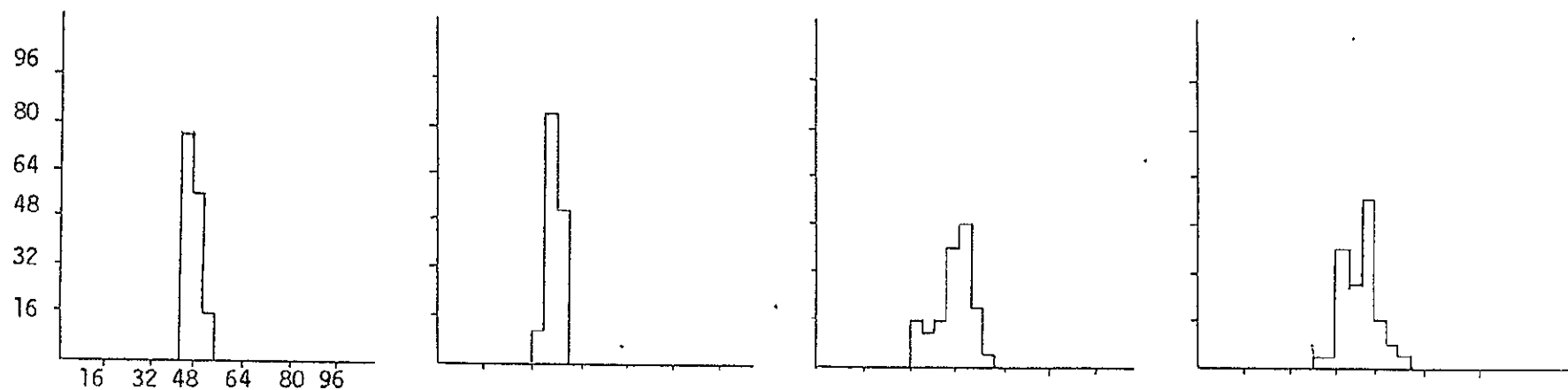


Fig. III.5 - Histogramas esquemáticos das "assinaturas" das amostras LAT-3 e LAT-4. Estes histogramas estão na mesma escala da Fig. III.4 e possuem para ordenada o número de pixels e para abscissa os níveis de cinza para cada área de treinamento.

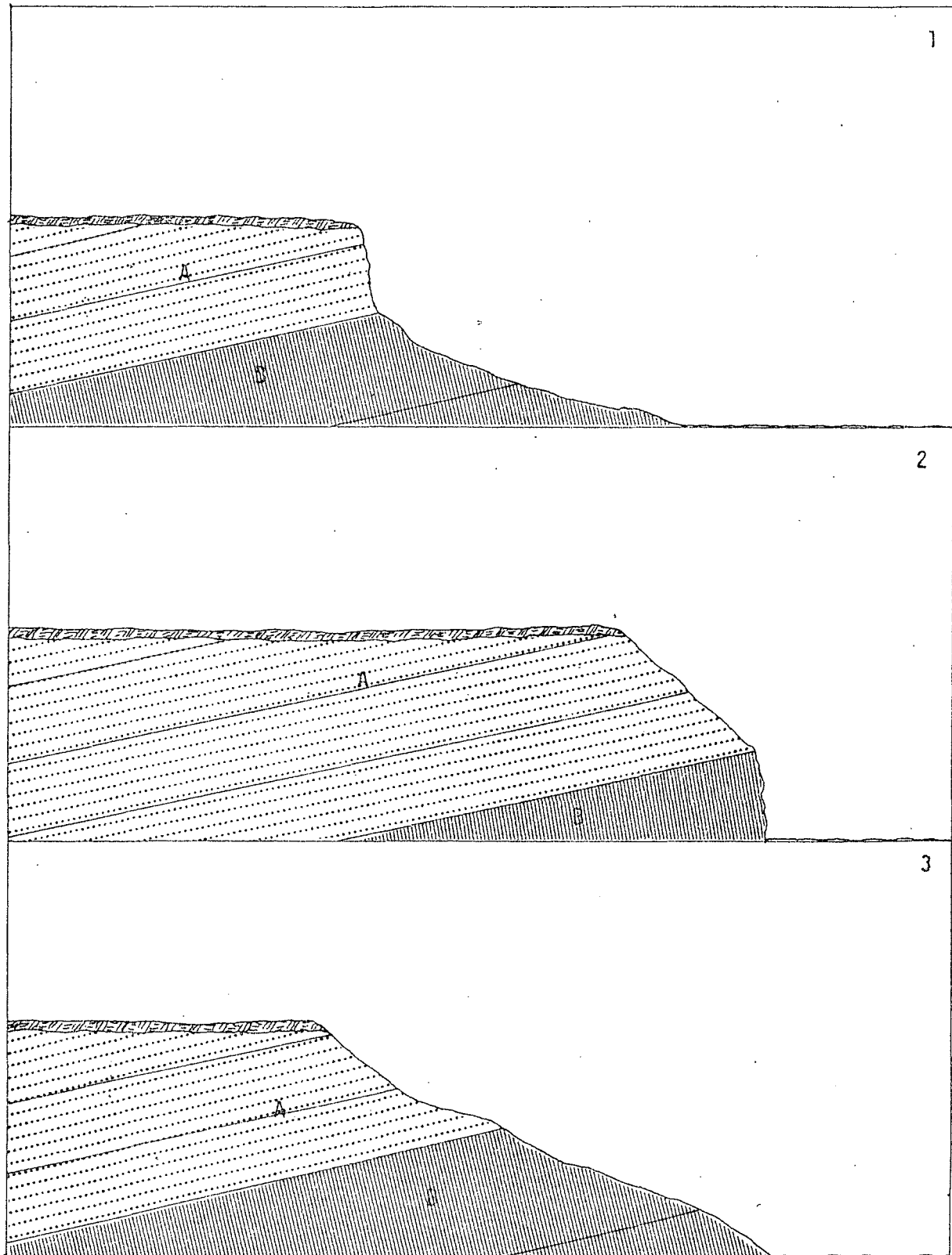


Fig. III.6 - Formas de afloramento de uma unidade. No exemplo 1 a subunidade B é responsável pela resposta da unidade, no exemplo 2 é a subunidade A e no exemplo 3 são ambas.

### "SLICER DE NÍVEIS DE CINZA"

Este recurso (programa), do IMAGE-100, permite dividir um canal escolhido, de uma imagem, em intervalos de cinza. Estes intervalos são armazenados em temas, podendo ser observados na tela da televisão. Já que a cada tema corresponde uma cor, pode-se observar uma combinação de cores correspondentes a diferentes intervalos de níveis de cinza. Os intervalos podem ser estipulados pelo usuário até um número máximo de oito (Tabela III.4).

TABELA III.4

EXEMPLO DE INTERVALOS DE "SLICER"

TEMA (1) - 0-31	(cinza)
TEMA (2) - 32-63	(marrom queimado)
TEMA (3) - 64-95	(azul)
TEMA (4) - 96-127	(amarelo)
TEMA (5) - 128-159	(maravilha)
TEMA (6) - 160-191	(purpura)
TEMA (7) - 192-223	(azul cinza)
TEMA (8) - 224-255	(branco)

(Exemplo para uma imagem com 256 níveis de cinza, dividida em 8 intervalos).

Utilizou-se esta técnica, para a análise das imagens, de duas formas. Uma, através do resultado do "slicer", dos canais de imagens, estudados diretamente na televisão ou nas saídas, por intermédio de slides ou fotos polaroide. Executou-se o "slicer" de cada canal, com seleção dos intervalos que mais se assemelhavam à interpretação visual e transportaram-se os resultados obtidos, diretamente, para as imagens e, posteriormente, para os mapas.

A outra forma teve como finalidade extrair dados do "slicer", como parâmetros para as classificações. Para cada canal, efetuou-se o "slicer" com oito intervalos de nível de cinza. Observou-se quais os intervalos que abrangiam a unidade, verificando-se a cor ou cores de tema que correspondem à unidade em estudo.

Conhecidos os extremos da variação tonal ocupado pela a mostra (unidade), aplicou-se novo "slicer" com estes limites, obtendo-se oito novos intervalos de cinza, dentro das quais ficavam as respostas da unidade. (Tabela III.5). Através da observação dos temas (intervalos), verificou-se quais ficavam mais em evidência. Os intervalos poucos denunciados, foram eliminados, ou foram modificados os seus limites, obtendo-se, com isso, limites mais significantes da unidade. Repetiuse o processo para todos os canais. Com os limites resultantes de "slicer", através do programa de síntese de agrupamento, construiu -se a assinatura daquele alvo (unidade), classificando-o.

O resultado da classificação mostrou-se mais próximo da representação da unidade, sem a necessidade de corte nos histogramas.

TABELA III.5

EXEMPLO DE "SLICER" PARA O CANAL 7

SLICER	ALVOS (avaliação visual)
1 - 22	Queimadas
23 - 45	Queimadas
46 - 67	Lateritas
68 - 90	Quartzo senso lato
91 - 113	Quartzito somente
114 - 135	Quartzito somente

Repetido o processo com os demais canais, chegou-se aos valores abaixo, com os quais se efetuou a classificação da amostra.

CANAL	LI	LS
4	61	70
5	59	75
6	64	92
7	89	135

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY



### CLASSIFICAÇÃO E OBTENÇÃO DE RESULTADOS

As classificações, referidas anteriormente, e executadas no trabalho com o analisador, foram de dois tipos: as classificações de célula simples e as classificações multicélula.

A construção da célula para as classificações, no sistema, é feita com a aquisição de assinatura em cada canal, a partir da área de treinamento selecionada. O sistema, utilizando os limites de tons de cinza, máximo e mínimo, adquiridos na área de treinamento, constrói um paralelepípedo (3 canais), ou hiperparalelepípedo (mais de 3 canais), cujos extremos, em cada direção do espaço, são os limites inferior e superior naquele canal e com dimensões iguais ao número de níveis de cinza entre os dois limites (Fig. III.7).

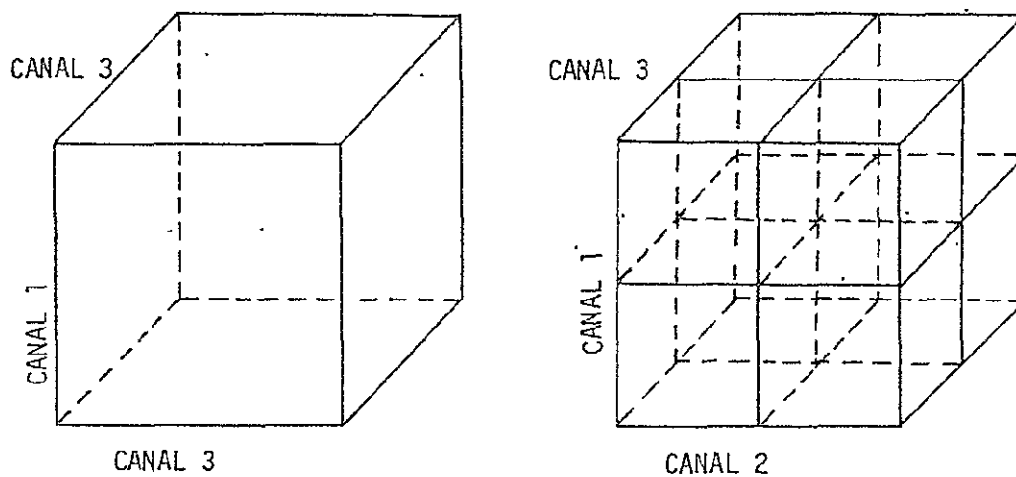


Fig. III.7 - Exemplo para tres canais - a diferença entre a célula simples e multicélula é a divisão em níveis de cinza entre os limites.

Na aquisição da assinatura, o sistema fornece histogramas com frequências de pixels de cada nível do intervalo de resposta, do alvo estudado, em todos os canais. Os limites laterais destes histogramas são controlados, como já visto, pelas respostas mínimas e máximas, existentes naquela área de treinamento. O usuário pode modificar os limites das assinaturas dos alvos, nos vários canais.

As classificações foram supervisionadas através de cópias em papel preto e branco das imagens LANDSAT, mapas e fotografias aéreas.

Com a supervisão, houve novas realimentações de áreas de treinamento, aquisição de assinaturas através de áreas de treinamento múltiplas, cortes nos limites dos histogramas das células simples, e eliminação de células por limiar, em classificações multicélula.

A obtenção dos resultados, no IMAGE-100 foi feita, principalmente, através dos dados resultantes das classificações. Obtiveram-se resultados, também, a partir de composições coloridas e combinações com cores complementares, dos diversos canais.

Os resultados foram obtidos diretamente na identificação de unidades, ou na individualização de litologias. As transferências destes resultados, foram feitas com a inspeção direta da televisão e em observações das saídas (slides, polaróides, listagens), para as imagens ou para os mapas finais.

#### 7.4 - MAPAS MAGNETOMÉTRICOS

Os mapas de isoanômalas de intensidade magnética total foram empregados com a finalidade de correlacionar as interpretações das anomalias magnéticas com as imagens LANDSAT, especialmente no que diz respeito à delimitação de unidades geológicas, estruturas e complexos rochosos magmáticos.

Para tal, foi utilizado o mapa magnetométrico na escala 1:1.000.000, que serviu como base para a comparação e análise dos "overlays" (em igual escala), interpretados com as imagens LANDSAT.

Os mapas magnetométricos, na escala 1:100.000, devido à sua própria escala, apresentação de controle planimétrico e demarcação dos valores das curvas de isoanomalias, permitiram maior observação e interpretação dos dados sendo, por isto mesmo, empregados simultaneamente na comparação com a base 1:1.000.000.

Na análise destes mapas, efetuou-se uma interpretação generalizada das grandes anomalias, de forma a abranger toda a área. Somente em locais onde tais anomalias fugiam do padrão geral, ou eram indicativas de fenômenos magnéticos, é que se deu maior atenção ao detalhe.

Como não se pôde estabelecer exatamente relações dos dados magnéticos em comparação aos dados superficiais das imagens, não foram apresentados, neste trabalho, mapas de interpretação magnética. As informações extraídas foram transferidas, diretamente, para o mapa geológico e utilizados na interpretação das unidades.

#### 8.0 - ANÁLISE E VERIFICAÇÃO

Os resultados obtidos com as etapas precedentes foram, então, adicionados ao mapa preliminar, fazendo-se a análise destas modificações. Este processo, foi repetido quantas vezes foi necessário, até que não houvesse modificações a introduzir.

#### 9.0 - MAPA GEOLÓGICO

Elaborou-se um mapa, constando de unidades litoestratigráficas e estruturas, tais como falhas, fraturas e lineamentos.

As unidades geológicas foram definidas com os nomes mais correntemente aceitos e baseados nos critérios da metodologia empregada.

As unidades, na legenda do mapa, estão divididas em dois setores, um a oeste e outro a leste. As unidades, que possuem continuidade nos dois setores, foram incluídas entre ambas. A análise de relacionamento, entre as unidades, deve ser feita em cada vertical do setor, pois a correlação na horizontal pode trazer, em alguns casos, imperfeições no empilhamento das mesmas (ver Anexo A-1).

O mapa geológico foi enquadrado na divisão das folhas geológicas ao milionésimo servindo, desta maneira, de base adequada para o planejamento da avaliação do potencial dos recursos minerais.

#### 10.0 - ANÁLISE DO MAPA GEOLÓGICO E BIBLIOGRÁFICA

Analisou-se o mapa geológico, então executado, estudando-se a distribuição, no tempo e no espaço, das unidades geológicas, os tipos de estruturas e sua distribuição. Com uma nova pesquisa bibliográfica específica e comparação com os mapas tectônicos existentes, pôde-se associar as feições identificadas nas imagens LANDSAT às unidades tectônicas.

#### 11.0 - ESBOÇO TECTÔNICO

Como resultado da interpretação de todas as estruturas e unidades geológicas mapeadas, foi elaborado o esboço tectônico da área.

Neste esboço foram atribuídas características tectogênicas às diferentes sequências, tendo sido possível, porém, identificar diferentes zonas isópicas que, em alguns casos, coincidem com os limites das sequências.

As estruturas, neste mapa, obedecem às seguintes classificações:

Estruturas de 1ª ordem = estruturas com mais de 100km de

extensão - falhas inversas, falhas de empurrão.

Estruturas de 2ª ordem - estruturas com menos de 100 Km de extensão - falhas normais, fraturas.

Estruturas de 3ª ordem - lineamentos em geral - eixos de dobras, cristas etc.

## 12.0 - RELATÓRIO FINAL

Elaborou-se o presente relatório, o qual apresenta to das as fases da pesquisa e os resultados obtidos com os sensores.

## CAPÍTULO IV

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discussão dos resultados é apresentada, neste relatório de tal forma, que permite enfocar a síntese dos conhecimentos geológicos (estratigrafia, tectônica e recursos minerais), características e dados obtidos com os sensores, bem como os produtos parciais que contribuíram para a elaboração do mapa geológico e tectônico, baseados no LANDSAT.

A parte de estratigrafia e tectônica envolve aspectos históricos, que requerem uma busca maior, na literatura disponível, indispensável para o entendimento do fato geológico e tectônico.

Em quase todas as unidades, segue-se uma sequência de descrição preenchendo vários itens como evolução dos conhecimentos de finição atual, posição estratigráfica, distribuição e modo de ocorrência, e comentários gerais.

Alguns conceitos pré-existentes mostram-se perfeitamente adequados à atual interpretação das imagens do LANDSAT. A dependência dos conceitos atuais de certos autores, cientes ou não destes conceitos prévios, em muito influenciou neste trabalho, para adotá-los ou deixá-los em aberto.

A discussão dos resultados, dos sensores e técnicas, abrange os aspectos considerados mais importantes pelos autores do trabalho.

O mapa geológico e o esboço tectônico englobam todos os resultados obtidos com os sensores, completando-se, nestes, aspectos aqui não descritos. As unidades são apresentadas na Tabela IV.1.

TABELA IV.1

QUADRO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS

IDADE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		LITOLOGIAS
	OESTE	LESTE	
QUATERNÁRIO	ALUVIÕES		Sedimentos areno-argilosos e matéria orgânica com acúmulo nas calhas dos rios.
TERCIÁRIO QUATERNÁRIO			Colúvios Areias residuais (eluvio) Materiais laterizados
TERCIÁRIO		COBERTURAS TERCIÁRIAS.	Arenitos friáveis, com intercalações de argilas, e com alguns níveis conglomeráticos.
CRETÁCEO	Fm. URUCUIA		Arenitos avermelhados finos, Folhelhos e argilas.
	Fm. AREADO		Arenitos. Folhelhos e arenitos avermelhados Conglomerados
Pre SUPERIOR	Gr. BAMBUI	Fm. TRÊS MARIAS	Siltitos, arcólios, grauvacas e arenitos
		Fm. PARAPEBA	Ardósias, siltitos, folhelhos, calcários, margas, dolomitos, quartzitos, filitos, arenitos, etc.
		Fm. PARANOÁ	Quartzitos, metassiltitos, conglomerados (diamictitos?)
Pre SUPERIOR		Fm. JEQUITAI Gr. MACAUBAS (1) (2)	(1) Diamictitos e arenitos 2) Quartzitos, quartzitos conglomeráticos, conglomerados, filitos, metadiamictitos, calcários, dolomitos etc.
Pre SUPERIOR	Gr. CANASTRA		Filitos, quartzitos
Pre SUPERIOR	Gr. ARAXÁ		Micaxistos, quartzitos
Pre SUPERIOR		Gr. ESPINHAÇO	Arenitos, quartzitos, quartzitos conglomeráticos, conglomerados e filitos - intrusivas básicas.

#### 4.1 - ESTRATIGRAFIA

##### 4.1.1 - COMPLEXOS

As rochas, que compõem esta unidade, são constituídas de gnaisses, granito-gnaisses e xistos cristalinos, ocupando a parte sudeste da área (região de Capelinha, Malacacheta, Água Boa) e, no eixo Itacambira - Barrocoão, estendem-se no sentido N-S, paralelas à serra do Espinhaço.

Nestas regiões, os gnaisses e xistos são as rochas que apresentam maiores distribuições em área, embora os complexos graníticos ocorram injetados nestes gnaisses e xistos, como é o caso de suas exposições próximo a Senador Modestino Gonçalves e Itacambira.

Estas rochas encontram-se sotopostas e discordantes (discordâncias erosionais) com outras sequências estratigráficas porém, devido a altos estruturais, que atualmente se encontram rebaixados pela erosão tais rochas constituem belas exposições, como é o caso de Senador Modestino Gonçalves e Itacambira.

Como estas rochas apresentam distribuições restritas em área, torna-se difícil de correlacioná-las a grandes distâncias podendo-se somente, estabelecer relações entre elas e as unidades mais novas. Constituem rochas intensamente perturbadas, apresentando fortes alinhamentos estruturais, com direções NW-SE, a norte de Capelinha. Apresentam-se bem metamorfasadas e alteradas, onde os micaxistos e gnaisses em muitos pontos, acham-se cortados por veios de quartzo e de pegmatito, com cianita abundante.

Morfológicamente, correspondem a áreas muito arrasadas, apresentando um controle estrutural, condicionante do relevo.

No projeto Bacias Terciárias do Nordeste de Minas Gerais, desenvolvidos pela CPRM em 1971, os autores fazem uma subdivisão no sudeste da área, apresentando rochas pré-cambrianas do Grupo Rio Doce e Grupo Tumiritinga (segundo proposição de A.L.M. Barbosa e outros em 1966), bem como consideram as rochas, da região de Itacambira e Barrocoão, como complexos granitoides.



No trabalho, limitam-se os autores a considerar os gnaiss, xistos e complexos granitoides, existentes na área como Complexos, sem entrar em subdivisões estratigráficas, tendo em vista as características de distribuição irregular, diversificação petrográfica destas ocorrências e dificuldade em individualizá-las nas fotointerpretações e trabalhos de campo, de reconhecimento.

#### 4.1.2 - GRUPO ESPINHAÇO

Um dos primeiros trabalhos no norte de Minas Gerais, principalmente na região da serra do Espinhaço, foi de ESCHWEGE que publica em 1817, 1820, 1822 e 1832. DERBY (1879), estudando a serra do Espinhaço (região de Diamantina), estabelece que as camadas de quartzitos arenitos, minério de ferro e calcários dolomíticos, são separadas por discordância das camadas inferiores e que as sequências de arenitos superiores, contendo seixos, são menos metamórficos do que as rochas subjacentes, também metamorfozadas. Em seu trabalho de 1906, DERBY lança o conceito "Série Minas", para as rochas metamórficas (xistos, quartzitos, e calcários), porém, os arenitos superiores com leitos de seixos, não são enquadrados nesta série e estão discordantes com as sequências subjacentes. Comenta também, que tais arenitos se estendem para o sul, até Ouro Preto e que são conhecidos em Itacolomi, porém não diamantíferos. HARDER e CHAMBERLIN (1915), estendem o termo "Série Minas" aos arenitos, designando-os de "quartzitos Itacolomi". RIMMANN (1918, 1920 in FREIBERG 1932) também engloba tudo como Série Minas, dividindo-a em camadas de Itabira, de Diamantina e de Itacolomi. GUIMARÃES e MORAES (1929-1939), conservam o conceito de DERBY, denominado, porém de Série "Itacolomi", às camadas sobre a discordância referida por ele, usando-se no termo "quartzito Itacolomi" de HARDER e CHAMBERLIN.

FREIBERG (1932) denominou de "Formações Espinhaço", as Série Itacolomi e Série Minas, sem querer criar uma série nova, considerando esta designação como provisória, e com conceito mais amplo, devido à dificuldade em separar as referidas séries.

BARBOSA (1934), publica o resumo da geologia do Estado de Minas Gerais e com GUIMARÃES apresentam uma carta geológica na escala 1:1.000.000. Consideram as rochas da serra do Espinhaço, pertencentes à Série "Itacolomi", sendo que seus quartzitos são bem semelhantes aos da Série Minas, porém, com mais feldspato clástico.

MORAES (1937), usa termo Série Itacolomi definido por ele e GUIMARÃES, em 1931, para os quartzitos, arenitos, conglomerados e filitos das serras de Itacolomi, do Cabral, grande parte da serra do Espinhaço e estendendo-o para norte de Minas Gerais. Menciona seus trabalhos na área, nos anos de 1925 a 1930, e publica um mapa geológico, na escala 1:2.000.000, da região diamantífera do norte de Minas Gerais, correspondendo assim, ao primeiro trabalho geológico detalhado da região sul e central da serra do Espinhaço.

BARBOSA em 1954, inclui novamente os quartzitos da serra do Espinhaço na Série Minas e reconhece o caráter miogeossinclinal desta região.

PFLUG (1965, 1967, 1968), voltando ao esquema de HARDER e CHAMBERLIN (1915), dá uma maior extensão à "Série Minas" e faz observações paleogeográficas, apresentando uma divisão desta unidade em três fácies: Diamantina (miogeossinclinal), Itabira (intermediária) e Guanhães (eogeossinclinal). Define a Formação Sopa Brumadinho (conglomerados), intercalada em filitos e quartzitos da Série Minas.

GROSSI SAD (1968), em seu esboço geológico de Minas Gerais, redefine a "Série Espinhaço", atribuindo-lhe uma idade relativamente anterior a Série Minas.

PFLUG et alii (1973) correlacionam os quartzitos e filitos das principais serras da Cordilheira do Espinhaço, com as sequências encontradas no Quadrilátero Ferrífero. Baseando-se no conceito geossinclinal e de distribuição de fácies de seus trabalhos de 1965, 1967 e 1968, PFLUG separa, no Espinhaço, três grandes unidades: Pós Minas, Minas e Pré-Minas. Denomina de Super Grupo Minas, os sedimentos depositados em uma bacia geossinclinal, diferenciados por fácies inter

digitadas, sendo que as Formações Sopa-Brumadinho (Diamantina), Batatal e Itabirito Cauê do Quadrilátero Ferrífero, correspondem às unidades chaves.

KARFUNKEL, (1976), com a denominação de Super Grupo Espinhaço, divide esta unidade em quatro formações (Itacamburuçu, Resplendecente, Água Preta e Matão).

Do exposto acima, pode-se observar que vários trabalhos sobre as sequências de rochas quartzíticas, conglomeráticas e filíticas, que ocorrem na serra do Espinhaço, têm sido realizados com a finalidade de um posicionamento estratigráfico e correlacionamento com as sequências encontradas no Quadrilátero Ferrífero. Muitas opiniões divergentes, ou mesmo conflitantes, tem surgido entre conceitos estratigráficos já conhecidos. Quanto a este aspecto, adota-se, neste trabalho, o termo Grupo Espinhaço para as referidas rochas (com base, também, nas conclusões do projeto Folha Geológica ao Milionésimo - Belo Horizonte, desenvolvido neste Instituto) pois é o termo mais adequado para a distribuição e modo de ocorrência desta unidade.

Deve ser ressaltado que o termo "Espinhaço", aqui usado, foi empregado por FREYBERG (1932), quando engloba a Série "Itacolumi" e Série Minas, e por MORAES REGO (1936), quando sugere a separação entre as sequências da serra do Espinhaço e do Quadrilátero Ferrífero, criando o termo "Série Espinhaço".

A conotação Grupo Espinhaço, no presente trabalho, refere-se aos quartzitos, arenitos, conglomerados, filitos e metabasitos da serra do Espinhaço, correspondentes à Série Espinhaço de "MORAES REGO (op.cit.) e a Série Itacolomi de MORAES (1930-1937), que apresenta a mesma distribuição deste grupo na área do presente estudo.

A distribuição do Grupo Espinhaço na cordilheira, é representada pelas serras dos Macacos, da Contagem, das Almas, Nova, da Itacambira, do Machado, do Curral, do Areão, Pico da Gordura, do Cantagalo, do Barão, da Bocaína, Gado Bravo, Morro do Balão Velho e, fora da mesma, pela serra do Cabral.

As rochas predominantes são os quartzitos e arenitos, com leitos conglomeráticos, e camadas finas de filitos. Apresenta-se este grupo, dobrado com anticlinais e sinclinais. Os mergulhos das camadas são suaves nas chapadas e acentuados nas encostas das serras. Os arenitos e quartzitos sempre mostram estruturas sedimentares, apresentando estratificação cruzada e marcas ondulares.

Os metassedimentos deste grupo, são encontrados ao longo da serra do Espinhaço, recobrimdo rochas do embasamento ou Grupo Minas ao sul da área, e em discordância erosional sobre complexos granitoides de Itacambira, sendo que, na porção oeste deste complexo, a discordância é mais clara do que a leste, onde os contatos tornam-se mais difíceis junto aos arenitos arcosianos do Grupo Macaúbas.

Quanto à distribuição litológica em área, são os quartzitos que ocupam as maiores extensões e, devido sua maior consistência, também são os que mais se destacam na topografia.

Os filitos ocorrem geralmente intercalados com os quartzitos, bem laminados e com uma distribuição alongada, paralela ao acamamento dos mesmos. Segundo MORAES (op.cit), os filitos na sua maior parte, correspondem a rochas eruptivas laminadas, introduzidas na denominada Série Itacolomi.

Quanto ao aspecto estrutural, os dobramentos do Grupo Espinhaço são caracterizados por orientações preferenciais N-S. Também, estruturas dobradas menores apresentam as mesmas orientações N-S, com mergulhos acentuados, e são nos filitos e quartzitos micáceos que estas dobras mais se manifestam, acompanhando geralmente o acamamento dos quartzitos mais puros.

As clivagens, nestas rochas são bem desenvolvidas, com mergulhos acentuados e muitas vezes paralelas a estratificação. Quanto aos falhamentos, estes apresentam direções preferenciais NW-NE, que são bem marcantes pelas drenagens. Constituem, na sua maioria, falhas normais, não sendo possível verificar as do tipo inverso ou empurrão, exceto na borda ocidental da serra do Espinhaço. Falhas, fraturas menores e lineamentos em geral, podem ser observados cortando este grupo e estendendo-se além dos limites da serra, através do Grupo Bambuí, onde suas direções são perpendiculares ou em diagonal, com respeito aos eixos estruturais principais.

Fora da serra do Espinhaço, este grupo é representado pela Serra do Cabral, com altitudes ao redor de 1.200m, formada essencialmente de arenitos, quartzitos friáveis e argilitos, ocorrendo concordantemente com os arenitos. É formada por anticlinais e sinclinais, cortados transversalmente por uma grande intensidade de falhas e fraturas em geral.

#### 4.1.3 - GRUPO MACAÛBAS

MORAES (1937), desde 1925, estudando o norte de Minas Gerais, denomina as rochas deste grupo como Formação Macaúbas. Em 1932, apresenta, em trabalho, a área ocupada por esta formação em toda a região estudada. Em 1937, MORAES (op.cit) enquadra a Formação Macaúbas e a Formação Sopa, dentro da Série Lavras, considerando a primeira clástica de origem glacial e, a segunda, como um fácies fluvio glacial. Estende-se esta série para o norte de Minas Gerais, englobando grande parte da serra do Espinhaço até a fronteira com a Bahia.

GUIMARÃES, em 1964 (vide Projeto Espinhaço Meridional, 1972), enfatiza uma provável origem glacial para o Macaúbas, devido aos seus depósitos com características tilíticas.

PFLUG (1965) conserva o termo Série Lavras, de MORAES, resumindo nele as sequências glaciais do proterozóico superior do Brasil. Considera a Formação Sopa como conglomerados polimíticos (diamantíferos), intercalados junto aos quartzitos da "Série Minas", o que denominou de Formação Sopa-Brumadinho.

Já em 1967, PFLUG mostra a existência de interdigitação de fácies calcáreos do Bambuí, com fácies clásticos do Macaúbas, englobando-as na chamada "Série São Francisco".

CARVALHO (1967), FRANK (1968), EBERLE e RIEPLER (1968), SCHOLL e SOUZA (1970) e outros passam a denominar a Formação Macaúbas de Grupo Macaúbas, elevando assim a categoria destas rochas.

PFLUG (1973), sob a designação de Super Grupo São Francisco, reúne todos os sedimentos posteriores ao Super Grupos Minas, e, divide, este super grupo em duas fácies distintas: uma epicontinental (Bambuï) e uma molássica (Macaúbas, Jequitai, Itacolomi e Santo Antonio) dando, assim, uma conotação tectônica nesta divisão.

HETTICH (1976), estudando parte do Grupo Macaúbas na região do alto Jequitinhonha, estabelece uma coluna litoestratigráfica e confirma a origem glacial das mesmas.

KARFUNKEL, J. (1976) estuda o grupo Maraúbas, na região central da serra do Espinhaço. Segundo suas investigações divide o grupo, citado da lapa para a capa, em Formação Califorme, Formação Terra Branca e Formação Carbonita. Demonstra a gênese glacial da Formação Terra Branca, bem como a variação faciológica da mesma.

Neste trabalho será considerado tanto em distribuição em área, como estratigraficamente, a Formação Macaúbas de MORAES (op.cit.), porém elevada a categoria de grupo, considerando-as assim, uma unidade mais nova do que as que formam a serra do Espinhaço.

Quanto à Formação Sopa, fica aqui enquadrada no Grupo Espinhaço, onde os conglomerados polimíticos encontram-se intercalados nos filitos e quartzitos da serra.

As relações de posicionamento estratigráfico, entre o Grupo Macaúbas e Bambuï, baseadas em diferenciações litológicas e estruturais, não serão discutidas sobre o aspecto de fácies. Os presentes autores limitam-se a considerar o Grupo Macaúbas subjacente ao Bambuï, principalmente no seu contato junto a borda ocidental da serra do Espinhaço.

Este grupo apresenta sua distribuição geográfica na serra do Espinhaço. Na borda ocidental da serra ele margeia com uma faixa

de três a quatro quilômetros, praticamente em toda a sua extensão. Os sedimentos do Macaúbas fazem contato, nesta área, com os quartzitos do Grupo Espinhaço e com rochas do Grupo Bambuí. Aí, aparentemente, o Macaúbas apresenta-se concordante com as rochas do Grupo Espinhaço, possuindo acamamentos com direções e mergulhos semelhantes ao mesmo.

É na borda oriental da serra, rumando para leste, que o Grupo Macaúbas atinge um grande desenvolvimento, principalmente no eixo Carbonita-Virgem da Lapa, regiões banhadas pelo Araguaí, Jequitinhonha e, também, estendendo-se para o norte nas regiões de Rubelita, Salinas e médio rio Vacarias.

Suas espessuras não foram determinadas, porém, pode ser observado que, no sentido nordeste, quando se afasta da serra, elas aumentam podendo atingir centenas de metros e, em alguns lugares há indicação de espessuras maiores.

Nesta área, principalmente a leste, as direções e mergulhos do acamamento são bastante variáveis e, quando comparados, com os eixos estruturais, sugerem que estas rochas estão em discordância com as do Grupo Espinhaço ou, na falta deste, com os complexos.

Morfologicamente, o Grupo Macaúbas apresenta-se com relevo acentuado na borda ocidental da serra do Espinhaço, apresentando vales profundos, condicionados por fraturas. Porém, na parte oriental, os níveis superiores de seus sedimentos, por serem formados por material mais friável e argilosos, provocaram um aplainamento da região, produzindo solos espessos, onde a paisagem de chapadas é bem característica.

No Grupo Macaúbas, encontram-se rochas semelhantes ao do Grupo Espinhaço, (principalmente próximo à borda da serra do Espinhaço). Constituem-se de quartzitos, meta-arenitos, filitos, micaxistos e meta-conglomerados.

Os quartzitos, ao sul da área, são predominantes, geralmente impuros, com cores variadas, sendo diferenciados dos quartzitos do

Espinhaço pela má seleção do material e por serem levemente conglomeráticos.

Quanto aos filitos e siltitos, nesta área, são também impuros, quase sempre intercalados nos quartzitos.

As rochas deste grupo, entre os rios Jequitinhonha e Araçuaí, se estendem em extensas chapadas constituídas por filitos, arenitos e filitos conglomeráticos, sendo que, nestas rochas, o metamorfismo atuou mais fracamente, dando um aspecto de folhelho aos filitos. Já mais para sudeste, nas regiões entre Carbonita, Itamarandiba e Minas Novas, também o Grupo Macaúbas ocorre sob forma de chapadas, com vales profundos, onde camadas de micaxistos conglomeráticos alternam com quartzito.

Dirigindo-se para nordeste, rumo a Minas Novas e Coronel Murta, o Grupo Macaúbas ocorre como rochas de granulação fina de cor cinza claro, alternando em certos pontos com rochas mais resistentes, tipo quartzitos. Estas rochas, cuja xistosidade (NE) é proeminente, podem ser consideradas como quartzo xisto ou quartzitos micáceos xistosos. Próximo a Berilo, o mesmo tipo de rocha, com granulação fina a média, é comum, porém a xistosidade aumenta e encontram-se veios de quartzo cortando-se. Este tipo de rocha segue-se para norte, aflorando junto aos rios Araçuaí e Jequitinhonha, próximo a Coronel Murta.

No trecho entre Coronel Murta e Salinas, a presença de xistos, com menos biotita e mais porcentagem quartzo feldspática, é a litologia predominante do Macaúbas, embora ocorram também conglomerados polimíticos.

Na região entre Salinas e Grão Mongol, o Grupo Macaúbas é bem representado por xistos conglomeráticos e metadiamicritos à grauvas conglomeráticas, sendo comum, em vários afloramentos, intercalações de xistos e quartzitos cortados por veios de quartzo.



Sob o ponto de vista estrutural, os Grupos Macaúbas e Espinhaço se assemelham, apresentam a mesma direção de acamamento, bem como dobramentos com eixos NS, embora bem menos frequentes no Macaúbas. Falhamentos inversos ou de empurrão ocorrem ao longo da borda ocidental da serra do Espinhaço, fazendo com que estas rochas se sobreponham às do Grupo Bambuí. Falhas não discriminadas, bem como uma densidade grande de fraturas ocorrem no Macaúbas, sendo que as falhas de maiores extensões passam do Grupo Espinhaço para as rochas do Macaúbas.

Em direção a leste, fortes alinhamentos estruturais são bem destacados com direção NE, ao longo do Rio Araguaí e a norte de Capelinha, junto ao contato do Grupo Macaúbas com os xistos e gnaisses do complexo.

A origem ou ambiente de deposição do Macaúbas tem sido alvo de muitos estudos. MORAES (1936) correlaciona as rochas deste grupo a depósitos glaciais, baseando-se nos seus elementos texturais, modo de ocorrência, e a sua composição. Considera, os conglomerados e filitos conglomeráticos, correspondentes a verdadeiros tilitos metamórficos, baseado no aspecto dos seixos e no caráter do cimento. Salienta que muito dos seixos são tipicamente glaciais, e a sua forma achatada pode ser de valor diagnóstico na determinação da sua origem.

PFLUG (1967) considera a maior parte das feições glaciais, apresentadas pelo Grupo Macaúbas, como resultantes de processos diastróficos.

COBRA (1969), baseado em uma análise estatístico-estrutural dos seixos do Macaúbas, na escarpa oeste da serra do Espinhaço, estabelece uma nova interpretação para as origens da Formação Macaúbas. Considera que a forma achatada dos seixos estaria associada geneticamente, aos movimentos das falhas de um grande "rift" e dos efeitos de duas fases de deformação, resultou numa laminação e fluxo, e numa laminação posterior, de cisalhamento.

HETTICH (1976) acredita que apenas a unidade das metagrauvacas é de origem glacial. Correlaciona, de acordo com a petrografia e a posição estratigráfica, rochas da região de Jequitai, bordas da serra do Cabral e borda ocidental da serra do Espinhaço, com as rochas do alto do rio Jequitinhonha, encontrando uma transição de fácies de tilitos a sedimentos glaciomarinheiros em direção W-E. Segundo estudos realizados, confirma a origem glacial dessas rochas, bem como as transições de fácies, e assinala a presença de sedimentos glaciomarinheiros na região de Turmalina. Este autor também sugere a hipótese de um início de sedimentação simultânea para o Bambuí e Macaúbas.

#### 4.4.4 - FORMAÇÃO JEQUITAI

DERBY (1880) foi o primeiro a descrever um conglomerado nas proximidades de Jequitai, o qual continha seixos de vários tamanhos, desgastados e formados de diversas rochas, denominando-os de conglomerados Jequitai.

Em vários trabalhos, as rochas desta formação foram mencionadas ou estudadas com respeito a sua origem.

MORAES (1932), considera os conglomerados (tilitos) diamantíferos, nas encostas da serra do Cabral, idênticos aos de Jequitai e colocados por ele na Formação Macaúbas; GOMES (1949) também constatou a existência de um metatilito, rico em dolomita, nas margens do rio Jequitai. GUIMARÃES (1966) coloca os conglomerados Jequitai dentro da "Série Lavras".

OLIVEIRA (1967) emprega o termo "Série Jequitai" para rochas pré-paleozoicas ocorrentes na bacia do São Francisco. Considera as camadas de Jequitai, representando expressão local de um conjunto de rochas de origem glacial que estratigraficamente se situa entre rochas da "Série Lavras" e "Série Bambuí". Estende esta formação com o nome de Série Jequitai para a cordilheira do Espinhaço, propondo a hipótese de fácies metamórficas.

CARVALHO, (1967), sob a designação de Grupo Macaúbas, engloba as rochas de Jequitaí (paraconglomerados e tilitos). Menciona que estas ocorrem da serra do Cabral, estendendo-se e ampliando-se para o norte.

ISOTTA et alli (1969), ao descreverem sobre evidências a favor da glaciação pré-Cambriana no Brasil, referem-se aos diamictitos e conglomerados da região de Jequitaí, sob a designação de Formação Jequitaí.

Um trabalho de maior detalhe, sobre esta formação, é feito por PONÇANO e PAIVA (1972), onde os autores discutem a composição litológica destas rochas (predominantemente diamictitos), seu ambiente deposicional, relações estratigráficas e correlações desta formação com a Formação Macaúbas da serra do Espinhaço.

CARDOSO (1973), estudando as rochas dentro do município de Buenópolis, conclui que os conglomerados que assentam discordantemente sobre os quartzitos, nos flancos da serra do Cabral, pertencem à Formação Jequitaí (da localidade tipo), e cuja a origem é também glacial.

PFLUG (1973) considera a Formação Jequitaí, sendo a mesma grauvaca com seixo, que se encontra no Macaúbas e enquadrá estas rochas, numa posição intermediária, podendo ser considerada com equivalente ao Macaúbas de espessura reduzida ou como conglomerado basal do Grupo Bambuí.

No presente trabalho, é considerado pertencente à Formação Jequitaí, não somente os diamictitos da região de Jequitaí como os arenitos conglomeráticos (filitos ?), que se encontram assentados discordantemente sobre quartzitos, em toda a borda ocidental e oriental da serra do Cabral, e estendendo-se para o norte, na serra da Água Fria.

Considera-se, portanto, pertencentes a esta formação, um conjunto de litologias caracterizadas pela má seleção granulo

métrica e diversidade petrográfica de seus sedimentos, que estrutural e estratigraficamente, apresentam-se semelhantes em toda a borda da serra do Cabral.

Esta formação, em vários aspectos, estratigráficos e estruturais, é comparável às sequências do Grupo Macaúbas. É quanto ao grau de metamorfismo e à litologia que estas sequências são bem diferenciáveis, motivo pelo qual a separação é feita.

A maioria das ocorrências da Formação Jequitaí caracterizam-se por um metamorfismo de baixo grau, preservando estruturas primárias e alguns aspectos da textura dos sedimentos originais.

Como já referido acima, a Formação Jequitaí acha-se assentada em discordância sobre quartzitos (filitos?) do Grupo Espinhaço, nos flancos da serra do Cabral e sotoposta, também em discordância, com os metassiltitos, calcários e alguns quartzitos do Grupo Bambuí. Sua composição é quase que essencialmente de arenitos conglomeráticos claros, e diamictititos. Essas rochas, na sua maioria, apresentam-se bem estratificadas, com direções preferenciais para NE e mergulhos acentuados no sentido leste.

Segundo MORAES (1937), esta formação sofreu dobramentos acompanhados de laminação e falhamentos, com intrusões de diabásio ocorrendo sob forma de anfibolitos diabasoides. A origem e ambiente deposicional da Formação Jequitaí pode ser considerada a mesma problemática do Grupo Macaúbas, embora a origem glacial nas rochas Jequitaí é mais evidenciada e foram estudadas com maior detalhe por vários autores.

PONÇANO e PAIVA (1972), estudando as superfícies estratigráficas (consideradas como glaciais), nas quais se assentam as rochas da Formação Jequitaí, concluíram que elas são indicativas do seu ambiente de deposição, e que parte dos diamictititos desta formação, podem ser considerados como tilitos.

É interessante lembrar que a Formação Jequitai e o Grupo Macaúbas, por ocuparem uma mesma posição estratigráfica e apresentarem litologias e estruturas semelhantes, deveriam ser como menciona PONÇANO e PAIVA (op.cit.), consideradas como uma unidade litoestratigráfica, estabelecendo-se, assim, subdivisões em fácies metamórficas, em função da variação espacial do grau metamórfico.

#### 4.1.5 - GRUPO ARAXÁ

BARBOSA (1955), in IXº Congresso Brasileiro de Geologia, assim define a "Fm. Araxá", nos arredores da cidade de mesmo nome: - "No planalto araxaense as rochas mais antigas constituem um complexo metamórfico pré-cambriano, constituído de micaxistos, "xistos verdes", filitos, migmatitos e quartzitos", o qual era associado à Série Minas. O autor divide, em caráter provisório, este complexo em duas formações: a "Fm. Araxá", mais antiga, e a "Fm. Canastra". "A Fm Araxá com "xistos verde", micaxistos e migmatitos, ocupa a bacia do Quebra-Anzol, e se estende daí para o Norte, alcançando o rio Paranaíba e seguindo Goiás a dentro". Até então, já se conhecia a grande distribuição geográfica e a grande variedade litológica desta "formação".

A "Fm. Araxá" de BARBOSA, aparece, em 1960, na categoria de Série no mapa geológico do Brasil de 1960.

ALMEIDA (1968), em seu trabalho sobre a evolução tectônica do centro oeste, coloca a Série Araxá, como unidade litoestratigráfica, Grupo Araxá, conceito atualmente empregado.

Com trabalhos de mapeamento foram evidenciados as litologias constituintes deste grupo: predomínio de biotita-xistos, quartzitos, localmente gnaisses, mármore, anfibolitos e metabasitos, penetrados de sienitos e grande número de rochas do clã básico-ultrabásico. Reune, este grupo, metamorfitos de fácies epidoto-anfibolito.

As relações de contato do Gr. Araxá com o embasamento, e ou o complexo basal, são citadas discordantes. Este grupo com quartzitos basais recobre, segundo diferentes autores em diferentes áreas, o embasamento (sul de Minas Gerais) e o complexo basal (Goiás), em discor

dância angular. As relações de contato desta unidade, com o Gr. Canastra, serão descritos na unidade seguinte.

As relações de contato do Grupo Araxã, com o Grupo Bambu estão geralmente associadas com falhamento inverso ou de empurrão, nem sempre distinguíveis nas imagens LANDSAT, como se pode observar no mapa geológico.

A distribuição geográfica do Grupo Araxã, com os mapeamentos ao milionésimo, mostra ser bastante ampla. É mapeada com larga ocorrência, em cinco folhas geológicas ao milionésimo (Goiás, Goiânia, Brasília, Belo Horizonte e Rio de Janeiro). Abrange partes dos Estados de Goiás e Minas Gerais.

As subdivisões neste grupo, ainda deixam a desejar. BRAUN (1970) propôs uma subdivisão, na folha Ipameri, em três unidades: A- Basal com xistos e gnaisses - B- quartzitos micáceos e ortoquartzitos e muscovita-biotita-xistos - C - Predominantemente calco-plagioclasio-quartzito-muscovita-biotita-xistos.

DANNI (1973) et alli, também esboçaram uma subdivisão para o Grupo Araxã. Dividido em uma parte, basal composta de muscovita-biotita-hornblenda gnaisses e anfibolitos, e a unidade superior, logo abaixo dos derrames e intrusões básicas ultrabásicas, composta de micaxistos, granada - muscovita xistos, com lentes de quartzitos e mármores.

As idades assinaladas para este grupo, colocam-no pré-Cambriano Superior. Datações de ALMEIDA e HASUI (1970) salientam a formação deste grupo anterior a 980 m.a. Datações recentes por estes mesmos autores, em anfibolitos intrusivos nos xistos próximo a de Estrela do Sul (MG), mostram valores em torno de 900 m.a.

Na área estudada, o Grupo Araxã ocupa uma faixa estreita, meridiana, abrangendo quase uma centena de quilômetros de largura no extremo sul de Campo Alegre de Goiás. Para norte torna-se mais estreita, chegando até as cercanias de Luziânia, onde inflete-se para oeste com tornando o alto topográfico de Brasília. Esta faixa é constituída predominantemente de micaxistos (muscovita-xisto, biotita-xistos, clorita)

taxistos), filitos, quartzitos, metabasitos (raros). Os quartzitos ocorrem em lentes, intercalados nos xistos e localmente existem ocorrências de sericita e talco-xistos.

A estrutura do Grupo Araxã, nas imagens, mostra direções NW principalmente, e perto de Luziânia, mostra-se inflexionada para WNW.

As estruturas mais proeminentes situam-se a sul de Campo Alegre de Goiás. São lineamentos, fraturas e pequenos falhamentos no roeste, paralelizados à grande estrutura que passa neste local, assinada como falhamento de empurrão nos mapas existentes. Esta estrutura, próximo a Campo Alegre de Goiás, inflete-se seguindo a direção do meridiano. Ela estabelece alinhamentos nesta região, com direção NW. A sul e a norte desta estrutura localizam-se respectivamente, as intrusivas mezozóicas de Catalão e os corpos graníticos de Sesmaria e Pires Belo.

As áreas de ocorrência do Grupo Araxã são bastante arrasadas pela erosão, ou recobertas por canga laterítica. São morros arredondados, com vales pouco profundos. O grau de arrasamento dissimula as estruturas desta unidade e torna pouco claros os contatos com as outras unidades.

A identificação da unidade Araxã, no campo, é, em parte, facilitada pelo grau metamórfico (quando afloramento fresco) e, ao mesmo tempo, prejudicada, pois os xistos estão geralmente bastante intemperizados. Podemos verificar e destacar as ocorrências de calcoxistos, próximos a Campo Alegre (GO), com intercalações de quartzito e muscovita a biotita-xistos, ao longo da estrada Catalão à Cristalina.

A Fm. Ibiã (BARBOSA et alli, 1970), neste trabalho, é incluída no Gr. Araxã. As suas relações com os grupos Araxã e Canastra são discutíveis. Os trabalhos publicados até 1970, incluíam esta formação, constituída de calcoxistos (calcoserita a clorita-xistos), em

posição intermediária entre os grupos Araxã e Canastra. Ainda no ano de 1970, nos trabalhos de mapeamento do Projeto Goiânia-II, DYER (1970), coloca esta formação em posição superior ao Gr. Canastra, em contato normal com o mesmo (porém em contato por empurrão com o Grupo Araxã); baseado na ocorrência de um metaconglomerado basal nesta formação (com seixos de quartzitos), em contato com os quartzitos do Grupo Canastra.

Nos trabalhos de campo, pôde-se observar ocorrências desta chamada Fm. Ibiã. Apresentava-se, sempre, um clorita-sericita-xistos intensamente micro-dobrado, dobras bastante assimétricas com "drags". As ocorrências desta formação são intermediárias entre os xistos Araxã e os filitos Canastra, coincidindo com os mapas existentes (Projeto Goiânia - Mapa Geológico de Goiás - Folha Belo Horizonte - Projeto Chaminés). O seu reconhecimento, no campo, é bastante facilitado pela própria litologia e pelo seu dobramento característico. Nas imagens, sua identificação é mais devida à sua localização, que a características fotogeológicas marcantes. É uma unidade que fica delimitada, por exclusão, com o Grupo Canastra. Já o seu contato com o Gr. Araxã é mais difícil, pois tem-se litologias semelhantes em contato.

#### 4.1.6 - Grupo Canastra

Como pode-se observar na unidade anterior, BARBOSA (1955), foi quem propôs a "Fm. Canastra": "A Fm. Canastra, menos antiga, em que dominam os quartzitos, salientes no relevo em "serras" assimétricas. Filitos diversos associam-se aos quartzitos, em geral prateados ou cinzentos. Ocupa a formação Canastra a bacia do alto rio das Velhas e a faixa divisória entre as bacias dos rios Quebra Anzol e Paranãiba". A esta sequência que BARBOSA cognominou de formação, passa a Série Canastra, no mapa geológico do Brasil de 1960.

ALMEIDA (1966) define o Grupo Canastra, composto de duas formações: Fm. Cristalina, inferior, composta de centenas de metros de quartzitos, repousando em discordância angular sobre as rochas do Grupo Araxã. A Fm. Paracatu, superior, composta de filitos, com intercalações subordinadas de quartzitos, itabiritos, muscovita xistos e



para-anfibolitos. (subdivisão atualmente não aceita pela maior parte dos autores).

As relações de contato do Grupo Canastra com o Grupo Araxá, não são pontos comuns. Desde a serra Dourada em Goiás, até a represa de Furnas no sul de Minas Gerais, durante grande tempo foi motivo das mais diferentes opiniões.

BARBOSA (op.cit), quando definiu o atual Gr. Canastra, admitiu mesmo ser a então a Formação Canastra, a própria "Fm. Araxá", submetida a diáftorese. Hipótese posteriormente afastada, como se pode observar no relatório do Projeto Folha do Rio de Janeiro (1971), no qual salienta-se não terem sido observadas ações metamórficas em larga escala, nos Gr. Araxá e Canastra. São localmente, devido à tectônica, foram observados fenômenos de saussuritização, cloritização e muscovitização. Exclui-se deste modo a possibilidade dos metamorfitos Canastra, terem se originado por ações de metamorfismo retrógrado do Gr. Araxá. Neste mesmo trabalho, é admitida concordância entre os Gr. Araxá e Canastra nesta área. Deixam salientado os autores: "As diferenças entre os Grupos Araxá e Canastra estão condicionadas a sedimentação original e posteriormente ao grau de metamorfismo".

ALMEIDA (1968) cita que, na Chapada dos Veadeiros (GO), os metamorfitos do Gr. Canastra repousam em discordância angular sobre o Gr. Araxá e, na margem direita do rio São Bartolomeu, a Fm. Paranoá repousa em discordância angular sobre a sequência Canastra.

Observa-se que, na Chapada dos Veadeiros, ALMEIDA (op.cit) poderia estar referindo-se aos quartzitos da Fm. Paranoá, repousando em discordância angular sobre as rochas do Araxá e não, talvez, aos quartzitos Canastra, como também o fizeram outros autores. E por outro lado, nas margens do rio São Bartolomeu, a Fm. Paranoá estaria repousando, sobre a sequência Araxá e não sobre a sequência Canastra, como o autor se refere. Estas observações, como se pode ver, trazem certas imperfeições nas relações de contato do Grupo Canastra com as litologias sobrejacentes e subjacentes.

Ao norte, na Serra Dourada de Goiás, DANNI et alli (op. cit.) mostram outros aspectos das relações de contato, entre os grupos Araxá-Canastra citando intrusões e derrames básicos e ultrabásicos situados em posição intermediária, entre os dois pacotes litológicos.

Em diversos mapeamentos tem-se observado os mais diferentes critérios para identificação litologias Araxá-Paranoá-Canastra.

Na área de Brasília, mapeou-se, durante muito tempo, quatzitos Paranoá como Canastra. Em áreas de Goiás, mapeiam-se lentes de quartzito do Araxá como Canastra. E as relações de contato entre estas unidades, Araxá, Canastra e Paranoá, sofrem os mais diferentes conceitos. O estabelecimento de modelos locais, tem trazido muitos problemas como se poderá observar adiante, quando tratarmos o Grupo Bambuí.

Na área mapeada, o Gr. Canastra ocupa a serra dos Pilões, e daí se prolonga até o rio Corumbá, a norte de Campo Alegre de Goiás.

Esta unidade, nas imagens LANDSAT, mostra cristas de quartzitos com orientação meridiana, a NNW. Observa-se que esta unidade é constituída de filitos e quartzitos, com predominância ora deste ora daquele. Já BARBOSA et alli (1970), nas serras de Pirapetinga e Sacramento, observaram uma ampla predominância dos filitos sobre os quartzitos.

Os filitos ocorrentes são de cores variadas, prateadas, cinzentas, roxas, predominando os últimos. Estes geralmente apresentam veios de quartzo. Os filitos dão uma textura de campos formando paisagens de colinas, com drenagem dendrítica, as vezes variando para o padrão baioneta, denunciando a intercalação de quartzitos.

LEONARDOS (1944) salienta a possibilidade de os quartzitos da serra dos Pilões, serem os mesmos da região de Cristalina. Em nossas observações, podemos constatar na área de Cristalina, quartzi-

tos, com estratificação cruzada, "ripplemarks", e metassiltitos com grande variedade de estruturas sedimentares. Fato que não se observou na serra dos Pilões. E sim quartzitos e filitos, os primeiros bastante puros, as vezes com níveis sericiticos, porém sem estruturas sedimentares observáveis, excetuando-se o acamamento destes quartzitos, não raro, bastante compactos. A associação litológica, da unidade Canastra mapeada, é bastante monotona: quartzitos e filitos.

Os critérios adotados, para a identificação desta unidade, são coincidentes, nos trabalhos de campo, com os trabalhos existentes e, por sua parte, nas imagens. Os mapas existentes assinalam esta unidade, desenvolvendo-se desde a serra da Canastra, no sul de Minas Gerais, adentrando em Goiás, na região de Campo Alegre de Goiás, até Luziânia.

As litologias associadas a este grupo são, predominantemente, quartzitos e filitos, localmente calcários, muscovita-xistos e para-anfibolitos. Neste trabalho, como já se salientou, são distinguidas as predominantes. Estas litologias estão incluídas no grau metamórfico de xistos verdes.

As relações de contato com o Grupo Bamuí não são suficientemente claras, quer nas imagens quer no campo. Mostram, porém em certos lugares, ser de caráter tectônico (falhamento de empurrão).

As relações com o Grupo Araxá, nem sempre claras, são citadas através de falhamentos de empurrão. Salientamos os seguintes critérios, para separar os metamorfitos Canastra, do Grupo Araxá: sequência litológica monótona (filitos e quartzitos), grau metamórfico menor, deformação menos intensa, ausência ou menor predominância de intrusões básicas, xistosidade pouco imposta, mesmo devida ao tipo de sequência.

As datações geocronológicas incluem as rochas do Grupo Canastra, no Pré-Cambriano Superior (600 ma).

A diferença estrutural e litológica do Gr. Canastra, com

filitos e quartzitos, permitem distingui-lo dos Grupos Araxã e Bambuí. Quanto a sua continuidade, desde a serra da Canastra, é mostrada nos trabalhos de mapeamento, principalmente dos Projetos Chaminés e Goiânia.

#### 4.1.7 - GRUPO BAMBUÍ

A bacia do São Francisco foi percorrida desde o século passado, por vários naturalistas, entre eles SPIX e MARTIUS, 1817-1820, W. L. VON ESCHWEGE, 1830, P. CLASSEN, 1841. Estes pesquisadores, fazem as primeiras referências aos calcários de suas formações. Com DERBY (1880-1881), inicia-se o primeiro trabalho sobre a distribuição geográfica e as litologias desta sequência. É este autor que atribui a este pacote de rochas, (Baseado em estudos de supostos fosseis em calcários) ser a idade siluriana. E. RIMANN, em 1917, cria a Série Bambuí, termo até hoje usado.

Um dos mais notáveis trabalhos de descrição e compartimentação estrutural das rochas do Bambuí, são os resultados das pesquisas de B. VON FREIBERG (1932), o qual distinguiu as fácies dobradas e não dobradas. A primeira, chamou de Camadas Indaiá, observadas a oeste de Capacete no Indaiá (MG), constituída de rochas argilo-arenosas, conhecidas como os "xistos da série Bambuí". São camadas fortemente dobradas, na maioria das vezes com direção noroeste. A segunda, fácies não dobrada, designou de Camadas Gerais, observadas no Planalto dos Gerais - (MG), que apresentam formações dispostas em "mesa" ou levemente dobradas.

Apesar da vasta distribuição das rochas do Bambuí, cobrindo os estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, atingindo ao norte os estados do Ceará e Piauí, os trabalhos da estratigrafia deste grupo foram restritos ao sul da bacia, nos estados de Minas Gerais e Goiás.

BRANCO e TEIXEIRA DA COSTA, (1961), estabeleceram a primeira coluna estratigráfica, de caráter mais completo, na região de Sete Lagoas, MG., constituída de três formações (vide Tabela IV.2). A basal, com poucos metros de espessura, composta de conglomerados seguidos de filitos representando uma sedimentação pelítica (Fm. Carrancas). Acima desta formação e em concordância, assentam-se calcários com cerca de 200m de espessura. Estes calcários (Fm. Sete Lagoas) representam um estágio de sedimentação química estando, em parte, transformados em mármore e dolomitos, consequência de ações de metamorfismo e pizonal. Na parte superior, eminentemente clástica, com espessura de 500m, e logo acima dos calcários Sete Lagoas, sobrepõe-se a Fm. "Rio Paraopeba", composta de quatro membros. Inicia-se com 200m de ardósias (Membro Serra de Santa Helena), passando gradativamente a siltitos argilosos, que encerram lentes de calcários oolítico (Membro Lagoa do Jacaré). Para o topo compõem-se de siltitos e arcóseos, e siltitos e ardósias verdes, compreendendo os Membros Três Marias e Serra da Saudade. Neste mesmo trabalho, dos autores anteriormente citados, admitem uma idade pelo mínimo Cambriana, a mais antiga, para estas rochas.

OLIVEIRA (1967), trabalhando no sul da bacia do São Francisco, reformulou a divisão de BRANCO e COSTA (op.cit.). As modificações introduzidas ampliaram a divisão da Série Bambuí, até então definida (vide tabela IV.2). Os membros Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré passam a formações incluídas, com a Formação Vila Chapada, então criada pelo autor, no Grupo São Francisco. O membro Três Marias, ora formação, composto pelo Membro Serra da Saudade, passa a constituir o Grupo Superior.

Com OLIVEIRA (op.cit.), seguem também, os trabalhos de BARBOSA (1965-1967) e ALMEIDA (1967), AMARAL et alii (1976) cujas colunas apresentaremos em tabela (vide tabela IV.2).

BRAUN (1968), estudando a estratigrafia Gr. Bambuí, notou que as colunas estratigráficas, até então estabelecidas, não eram aplicáveis para toda a extensão desta unidade. Elaborou um trabalho que simplifica a estratigrafia deste vasto grupo litológico. Dividiu

TABELA IV.2 - QUADRO COMPARATIVO DA ESTRATIGRAFIA DO  
GRUPO BAMBUÍ

BRANCO E COSTA (1960)		BARBOSA(1963-1965)	BRAUN (1968)		ALMEIDA(1967-69)	OLIVEIRA (1967)			AMARAL ET ALI (1976)	
FORMAÇÃO	Membro	FORMAÇÃO	FORMAÇÃO	Membro	FORMAÇÃO	GRUPO	FORMAÇÃO	Membro	SUB-GRUPO	FORMAÇÃO
RIO PARAOPEBA	S <sup>a</sup> da Saudade	TRÊS MARIAS	TRÊS MARIAS		TRÊS MARIAS	SUPERIOR	TRÊS MARIAS	S <sup>a</sup> da Saudade		TRÊS MARIAS
	Três Marias									
	L. Jacaré	L. JACARÉ		L. Jacaré	PARAOPEBA	SÃO FRANCISCO	L. JACARÉ		PARAOPEBA	L. JACARÉ
	S <sup>a</sup> S. Helena	S <sup>a</sup> GIHETA	PARAOPEBA	S <sup>a</sup> S. Helena			S <sup>a</sup> S. HELENA			S <sup>a</sup> S. HELENA
SETE LAGOAS		SETE LAGOAS		Sete Lagoas	SETE LAGOAS	INFERIOR	SETE LAGOAS			SETE LAGOAS
CARRANCAS		ARENITO PARANUÁ	PARANOÁ	(F. Carrancas)	CARRANCAS		V. CHAPADA	Carrancas		PARANOÁ

o grupo em três formações: Fm Paranoá, mais inferior, Fm. Paraopeba, intermediária, e a Fm. Três Marias no topo. Este grupo inicia-se por um conglomerado basal descontínuo e de pequena espessura, denominado de fácies Carrancas. Como se poderá observar mais adiante, esta foi a coluna adotada neste trabalho, por ser amplamente aplicável e bastante mais prática. Outra divisão proposta para o Grupo Bambuí é adotada por COSTA et alli (1970), propondo uma divisão para esta unidade em Tecnogrupos: Tecnogrupos Sete Lagoas, Tecnogrupos João Pinheiro e Tecnogrupos Formosa, e separando a formação Três Marias num Grupo, Pirapora, à parte.

As primeiras indicações de idade, desta unidade, surgiram com as descobertas de corais dos gêneros Favosites e Chaetetes por DERBY, em 1880, atribuídas ao Siluriano.

AMARAL e KAWASHITA (1967) realizaram datações em folhelhos, na região de Vazante, encontrando uma idade de  $600 \pm 50$  ma, que permite incluir o Gr. Bambuí no Pré-Cambriano Superior. Alguns autores alertam a possibilidade deste grupo ter-se desenvolvido desde há um bilhão de anos.

SÁ e KAWAHISTA (1976), em datações de granitos, tidos como intrusivos no xisto do Gr. Macaúbas, acharam, para estes, valores de  $600 \pm 50$  milhões de anos. As datações das rochas deste grupo tidas como, em parte glaciais, e sobrejacentes (salientadas, discordantes), ao Grupo Bambuí, poderá muito contribuir, como se pode ver, para esclarecer a posição do Grupo Bambuí dentro do tempo geológico.

Os limites do Grupo Bambuí, tanto ocidentais como orientais, nesta área de estudo, são mencionados como tectônicos, através de falhas de empurrão e ou inversas. Para nós é mais clara e mais válida esta aceção, para os limites da serra do Espinhaço. No setor ocidental, não se pode observar claramente ao longo de todo o contato, evidências de cavalgamento, comumente empregados para separar os grupos Bambuí, Araxá e Canastra. Somente em pequenos trechos, identi

cam-se algumas evidências de falhamentos de cavalgamento. Ao longo deste contato ocidental do Bambuí, houve uma dissimulação, causada pelo aplainamento dos diferentes ciclos erosivos, que nesta área atuaram.

As relações de contato, até o momento estudadas, mostram ser, este grupo, discordante das sequências Araxá e Canastra, ou perturbadas por falhamentos. O contato com as rochas do Espinhaço é discordante e também estrutural.

A constatação nas imagens LANDSAT, das sub-unidades do Grupo Bambuí, são melhor traduzidas, como já salientado neste trabalho pela divisão estratigráfica feita por BRAUN (op.cit.), a qual será apresentada com comentários válidos para a área de estudo.

Formação Paranoã - (ANDRADE RAMOS, 1956) - Distribui-se na região do Distrito Federal; em Goiás na Chapada dos Veadeiros e arredores de Cristalina; em Minas Gerais na Serra Negra, município de Patrocínio. É composta de quartzitos, arenitos finos e médios, argilitos, siltitos, metassiltitos e conglomerados.

Identifica-se, na área de estudo, através das imagens LANDSAT, a ocorrência desta formação, com certa facilidade, em torno do "domo" de Cristalina (GO). Neste lugar a formação é composta de metassiltitos, quartzitos e diamictitos.

FARIA et alli (1970) dividiram a Fm. Paranoã, em Cristalina (GO), em quatro membros (ver Fig. IV.1). O membro Ribeirão São Pedro, situa-se na parte inferior, composto de metassiltitos com intercalações de quartzitos e, na superior, composto de diamictitos, situa-se o membro Topázios. CARVALHO e COSTA (1968) separam duas formações nesta mesma área. A Formação Cristalina, com membros arenosos, e a Formação Topázio, com rochas para-conglomeráticas, tilitos e varvitos, repousando em disconformidade sobre a primeira. Esta formação Topázio, apresenta indícios glaciais (seixos estriados, seixos em forma de "ferro



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY


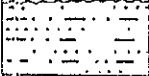

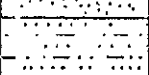
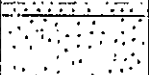

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA ÁREA DE CRISTALINA.						
PERÍODO	GRUPO	FORMAÇÃO	MEMBRO	ESPESSUR. m	LITOLOGIAS	DESCRIÇÃO
EO - CAMBRIANO ?	BAMBUÍ ?	PARANOÁ ?	TOPÁZIOS	60		DIAMICTITO - matriz areno argilosa, clastos de quartzito, quartzo de veia, raros de filito e coledrão. Ocasionalis intercalações de meta-siltito.
			EMBIRA	40		METASILTITO - cinza esverdeado claro leitos quartzosos lenticulares, laminações convolutas
				50		QUARTZITOS - grosseiros com leitos gradacionais
				30		METASILTITO - cinza esverdeado médio contendo finas intercalações de filito e quartzito.
			CRISTALINA	100 a 120		QUARTZITO - fino, interestratificações laminares de filito verde.
			RIBEIRÃO S. PEDRO	60		METASILTITO - cinza claro, com intercalações de quartzitos.

Fig. IV.1 - Coluna Estratigráfica da Área de Cristalina.

de engomar"). A comprovação, de tais indícios viria trazer uma reformulação na unidade mais inferior do Grupo Bambuí. Serviria também como fonte de correlações com a Formação Jequitaí, da serra do Cabral em Minas Gerais, e o Grupo Jangada na faixa Paraguai-Araguaia do Oeste Matogrossense, tidas como resultantes de glaciação continental, no pré-cambriano superior.

LEONARDOS (1944) e CARDOSO (1973) fizeram tentativas de correlação das rochas de Cristalina com os quartzitos da Serra do Cabral, pela similaridade entre eles.

A possibilidade de glaciação continental, no pré-cambriano superior é descrita por vários autores, e um maior estudo viria servir de grande auxílio para a estratigrafia do Grupo Bambuí e outros.

Neste região do sudeste goiano, as rochas do Paranoá estão cortadas por dois sistemas de fraturas, um NE e outro NW. O primeiro, mineralizado com cristal de rocha e, outro, estéril. Nas imagens, os sistemas de falhas e fraturas NW são os que mais se destacam. A estrutura "dômica", onde se situam as litologias do Paranoá, é bem identificável e denunciada por um sistema de drenagem radial centrífugo.

Formação Paraopeba - (BRANCO e COSTA, 1961) - esta formação, empregada com o mesmo sentido usado por Braun (op.cit.), engloba os calcários da Fm. Sete Lagoas, os membros Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade. Reune uma sequência litológica bastante variada, na qual se inclui calcários, arenitos, quartzitos, arcóseos, conglomerados, filitos, folhelhos, siltitos, margas, dolomitos, ardósias, argilitos. Tomando-se uma linha de referência, entre as cidades de João Pinheiro e Bonfinópolis, em Minas Gerais, se pode referenciar as ocorrências das litologias, desta formação, em dois setores: oriental e ocidental.

O setor ocidental, estruturalmente mais complexo, com camadas raramente horizontais, bastante dobradas e falhadas, fraturadas, re-

cobrem a área com grande variação litológica horizontal e vertical. Observa-se, desde João Pinheiro, folhelhos e calcários bastante amarrotados e, a norte, próximo de Bonfinópolis de Minas, passa a um predomínio de ardósias e metassiltitos igualmente dobrados. Na região entre Vazante (MG) e Unaí (MG) a variação litológica é bem sintomática. Logo que se chega próximo a Vazante, vindo de Patos (MG), observam-se filitos sobrepostos a calcários. Em Vazante, já se encontram metassiltitos e calcários. Seguindo-se para o Norte, na serra das Araras observam-se possantes pacotes de filitos e quartzitos em contato com dolomitos e ardósias. Estes filitos foram confundidos, por muito tempo, com metamorfitos Canastra, e não em muito diferem daqueles. Na região de Paracatu, os metassiltitos, ardósias e filitos são intercalados com lentes de calcário. Para a região de Unaí, predominam os arcóseos e ardósias, sem faltar as lentes de calcários que, juntamente com as outras litologias, mostram um dobramento bastante característico na região.

As características estruturais da Fm. Paraopeba, neste setor, em muito se enquadram nas descrições das camadas Indaiã de FREYBERG (op.cit.).

A tentativa de subdividir esta formação, na escala, como proposta por BRANCO em outras áreas, é inexecutável. As litologias apresentam-se descontínuas, com grande variação, e com características sedimentares e metamórficas bastante diversificadas. Nas imagens identificaram-se alguns destes tipos litológicos, como calcários, filitos, quartzitos, arcóseos, etc.

No Setor Oriental, a Formação Paraopeba mostra uma maior monotonia litológica e estrutural, sendo formada por ardósias e calcãrios, geralmente horizontais e subhorizontais. Estas rochas mostram uma continuidade lateral em grandes extensões. Na região de Montes Claros se podem observar calcários com 10 a 15m de espessura, encimados por ardósias. Observam-se, também, siltitos e folhelhos, em alternância, dentro dos pacotes de ardósia e calcários.

O fraturamento dos calcários mostra duas direções: uma,

noroeste, principal e, outra, nordeste, secundária. Este fraturamento é bastante visível nas imagens, evidenciado pelos processos de dissolução, que tornam as fraturas mais amplas. Pode-se observar, também, grandes dobramentos isolados, que atingem dezenas de quilômetros de extensão. As camadas desta Formação Paraopeba acham-se mais afetadas por falhamentos e dobramentos, próximos ao contato com as serras do Cabral e do Espinhaço.

Fm. Três Marias - (BRANCO e COSTA, 1961) - Ocupa a posição central da área mapeada em uma faixa com direção noroeste. São litologias essencialmente horizontais, localmente subhorizontais, assentando-se transgressivamente tanto a rochas horizontais da Formação Paraopeba como às suas rochas dobradas.

Na região central da bacia do Bambuí, o contato, devido a horizontalidade das rochas subjacentes, aparenta ser concordante. Na região dobrada, setor ocidental do Paraopeba, onde as litologias soto postas da região ao norte de Bonfinópolis estão inclinadas, o contato mostra-se ser discordante como se pode observar nas imagens LANDSAT e em trabalhos de campo (ver ANEXO A-1).

As litologias componentes desta formação, são principalmente siltitos, arcóseos e arenitos finos, as vezes calcíferos. Uma das características mais indicativas desta formação é sua horizontalidade, fraturamento pouco pronunciado, e dobramento ausente ou localizado.

#### 4.1.8 - FORMAÇÃO AREADO

RIMANN em 1915, estudando a região da serra da Mata da Corda, estabelece a "Série Areado", para os arenitos vermelhos desta região. FREIBERG (1932) cita que OLIVEIRA, 1881, já havia estudado estes arenitos vermelhos no vale do rio do Chumbo e na região de Abaeté, que WILLIAM, em 1914, chamou-os de Arenito Areado.

FREIBERG (op.cit.), realizando um estudo sistemático da geologia da bacia do São Francisco, dentro da sua "Série Gondwana", con

sidera como Arenito Areado de RIMAN, depósitos pertencentes aos períodos Permiano, Triássico ou Cretáceo, afirmando que não seria possível uma determinação absolutamente certa. Dentro da Série Gondwana, correlaciona os arenitos compactos vermelhos aos arenitos São Bento e Botucatu, e arenitos friáveis argilosos, ao arenito Pirambóia.

BARBOSA, em 1934, correlaciona a sequência de arenitos vermelhos argilosos ao arenito Botucatu, não aceitando porém, a denominação Areado. Já em 1965, sob a designação de Formação Areado, este autor propõe sua divisão em três membros: Abaetê, Quiricó e Três Barras. A apresenta sua distribuição areal, ocupando as bacias dos rios da Prata, Abaetê, Indaiá e parte da margem direita do Paranaíba.

Vários trabalhos, de reconhecimento geológico, e de investigações sobre a Formação Areado, na região de Minas Gerais, têm sido realizados, cuja a finalidade é de apresentar uma interpretação destas coberturas cretácicas, comentando também sua distribuição.

Entre vários autores, que contribuíram para o esclarecimento destas coberturas, podemos citar: SOUZA (1965), OLIVEIRA (1967), HASUI (1969), GROSSI SAD (1968), LADEIRA e BRITO (1968), CARDOSO (1968), BARBOSA et alii (1970), BRAUN (1970), GROSSI SAD e COSTA (1971), LADEIRA, et alii (1971), e outros, além dos Projetos de Geologia Regional, desenvolvidos pela CPRM.

Com base na literatura existente, foi adotada neste trabalho, a designação de Formação Areado, proposta por BARBOSA (1965), não sendo, porém enfocada a divisão adotada pelo autor em membros ou, como aceita por outros autores, como fácies, devido ao fato que, na escala, deste trabalho, não seria possível esta individualização.

As rochas desta formação ocorrem na área mapeada entre as bacias dos rios Paracatu e São Francisco, e entre este e o rio das Velhas, correspondendo ao Chapadão dos Gerais e a serra do Repartimento.

As litologias desta formação, arenitos argilosos, conglomerados, siltitos e folhelhos (em sequência rítmica), acham-se assenta

das na Formação Três Marias e, em alguns pontos, recobertos parcialmente pelo Cretáceo, Fm Urucuia.

Esta formação, em toda a sua extensão encontra-se afetada por processos erosivos (erosão diferencial), mostrando vastas superfícies irregulares, com morfologia característica. Dependendo do tipo litológico predominante, encontram-se superfícies planas ou suavemente onduladas sem fortes desníveis; porém, em áreas que existem mudanças litológicas, a dissecação é mais intensa, retalhando-as mais, podendo-se observar elevações irregulares, com destaques mais acentuados.

Basicamente, esta formação possui com características marcantes, feições escarpadas, topos aplainados, predominando os tipos mesa e torres. Quando é capeadas por material laterizado, estas feições são bem maiores, se comparadas com a própria alteração dos estratos.

A idade destes sedimentos, devido ao conteúdo fóssilífero, permite correlacioná-los ao cretáceo inferior. GROSSI SAD et alii (1971) sugerem considerar, tal formação compreendida no intervalo Aptiano-Albiano.

#### 4.1.9 - FORMAÇÃO URUCUIA

Sob a designação de Arenito Urucuia, E. OLIVEIRA, em 1926, referiu-se aos arenitos, descritos por MORAES REGO (1926), com o significado de Formação.

Nos trabalhos da "Mesa Redonda" sobre o cretáceo em Minas Gerais, realizados no XXV Congresso Brasileiro de Geologia, em São Paulo, foram estabelecidas conclusões sobre este período na bacia san franciscana dividindo-a em uma área meridional com Areado e Mata da Corda, e em outra, Setentrional, com a Formação Urucuia, embora, admitindo que não se conhecem, ainda, satisfatoriamente as relações entre as Formações Areado e Urucuia e ainda em suas conclusões, relatam; "Sabe-se que o limite de ocorrência entre as formações Mata da Corda e Urucuia

situa-se no talvegue do rio Preto e seu prolongamento pelo rio Paracatu a jusante da confluência. Mudando consideravelmente a litologia a partir do referido limite."

Portanto, segundo os resultados finais, ficou estabelecida a área de ocorrência desta formação, embora, sujeita a alterações à medida que novos estudos de caráter sistemático e detalhados sejam feitos, no sentido de definir os limites de ocorrência de tais sedimentos cretácicos.

Na área estudada, a Formação Urucuia restringe-se à região situada a norte de Jequitai entre o rio São Francisco e rio Verde Grande, onde seus sedimentos encontram-se assentados em discordância erosiva, sobre as rochas do Grupo Bambuí. Também a leste do rio Santo Antônio, constituindo a serra do Morro Vermelho, ocorrem sedimentos da Formação Areado e Urucuia.

Esta sedimentação detrítica, contemporânea ao vulcanismo Mata da Corda, revela dominância de arenitos, incluindo localmente conglomerados, sendo que suas espessuras são variáveis, não ultrapassando a 100 metros.

Devido aos efeitos dos ciclos erosionais, estes sedimentos, atualmente, se apresentam retalhados, com morfologia bem horizontal, e distribuídos irregularmente.

A silicificação ou laterização dos arenitos os tornou bem resistentes, tendo permitido assim que, chapadas extensas e mesetas com escarpas abruptas, se preservassem como testemunho, na paisagem geral, constituindo característica marcante da presença destes sedimentos.

Quanto a sua idade, os sedimentos do Urucuia são considerados pertencentes ao cretáceo superior. GROSSI SAD et alii (1971), quando se refere a idade da Formação Mata da Corda, considerando o Urucuia como fácies desta, comenta: "As datações empreendidas por HASUI e CORDANI (1968), estabeleceram idades em torno de 80 milhões de anos

para o vulcanismo tufáceo, o que assegura idade cretácea superior (Cenomaniana-Turoniana) para a formação".

#### 4.1.10 - COBERTURAS Terciárias

Um dos primeiros pesquisadores a mencionar a presença de sedimentos Terciários no norte de Minas Gerais, foi HARTT em 1870. MORAES, em 1937, descreve estes sedimentos ao longo da bacia do médio Jequitinhonha e rio Pardo, considerando-os depósitos Terciários, provavelmente pliocênicos, os quais, cobriam várias áreas da região, formando chapadas, motivo pelo qual o autor denomina estes sedimentos de "Formação das Chapadas".

Recentemente, HEINECK e TAVARES (1971) consideram que na área mapeada, principalmente na parte banhada pelos rios Araçuaí e Jequitinhonha e nas cidades de Minas Novas, Carbonita, Araçuaí, estes sedimentos terciários, na realidade, devam ser considerados como um paleossolo, proveniente de um intemperismo "in situ" das diversas litologias, afirmando isto, pelo fato da ausência de fosseis e estruturas sedimentares nos sedimentos. Acreditam que apenas alguns sedimentos, encontrados na Chapada de São Domingos e próximo a Senador Modestino Gonçalves, apresentam características de material Cenozóico.

Estes sedimentos, nas imagens LANDSAT, são observáveis em toda a extensão entre o rio Jequitinhonha e o rio Araçuaí e próximos às cidades de Itamarandiba, Capelinha, Minas Novas e Araçuaí, estendendo-se para o norte.

Nos trabalhos de campo, tais sedimentos foram observados capeando as litologias do Grupo Macaúbas (principalmente xistos), onde, a maioria dos locais, estavam recobertas por um solo pardo avermelhado, com muitos fragmentos de quartzo e canga. Na Chapada de São Domingos, os sedimentos ocorrem constituindo grandes afloramentos, formado por arenitos branco a amarelados, friáveis, com alguns níveis de argila intercalados, os quais com a intemperização, apresentam cores arroxeadas. Nesta localidade e arredores, acreditamos ser esta uma das melhores ex



posições de tais sedimentos cenozóicos. Por este motivo, usamos aqui in formalmente o nome "Formação São Domingos".

Recomendamos de que uma seção típica nesta chapada, nas proximidades de Coronel Murta e Lilliverdia, deva ser feita para que, as sim, estes arenitos finos com níveis mais argilosos possam caracterizar uma proposição formal.

Nestas localidades, estes sedimentos apresentam-se com grandes expressões ao longo da estrada, atingindo espessuras em aflora mentos de 6 a 8 metros, ocorrendo intermitentemente num trecho de 16 qui lometros.

Tais espessuras verificadas, aliadas a observações morfo lógicas e à forma de sedimentação (camadas horizontais), nos levam a crer que toda esta "Formação", não chega a atingir o máximo de 100 me tros. Também de observações de campo, dois níveis mais ou menos distin tos nestes sedimentos foram observados, um de arenito (areno-conglomera- tico) compacto e outro mais argiloso, que se intercalam.

Devido a ciclos erosionais e à erosão fluvial, estes de positos terciários apresentam-se fortemente retalhados, sendo que seus contatos são definidos pelos processos erosivos.

#### 4.1.11 - COBERTURAS TERCIÁRIAS-QUATERNÁRIAS

As coberturas do Terciário-Quaternário, na área, ocorrem capeando quase todas as unidades mapeadas, cobrindo tanto as rochas do Grupo Bambuí, como as da Serra do Espinhaço, a leste, e as dos terrenos elevados a oeste, em Goiás.

Devido à impossibilidade de maior individualização des tas coberturas, bem como de estabelecer seu caráter genético, foi adota da a denominação Terciário-Quaternário (T-Q), para estes tipos de detri tos.

Estas coberturas, geralmente cascalhentas (areno-argilosas), encontram-se em diversos níveis de diferentes cotas, podendo muitas vezes estarem laterizadas ou não.

Tais sedimentos apresentam grande distribuição em área e consideráveis espessuras (chegando a atingir 10 a 15 metros). São bem expressivos, principalmente nas regiões drenadas pelos rios Preto, da Prata, Paracatu, São Marcos, São Bartolomeu, Urucuia e também junto aos rios São Francisco, Jequitai e das Velhas, distribuindo-se em extensos chapadões.

Também são bem representados a leste de Engenheiro Navarro e Bocaiuva, cobrindo ora rochas do Grupo Bambuí, ora formações da serra do Espinhaço. Na parte nordeste da área, são encontrados com frequência ao longo do rio Verde Grande e junto as cabeceiras do rio Várzea. Na parte oeste entendem-se desde Campo Alegre de Goiás até Luziânia, sendo interrompidos em alguns pontos pela erosão e em outros por falta de deposição.

Geralmente, nas regiões baixas e vales, estas coberturas são constituídas de areias residuais, mostrando vestígios de laterização incipiente.

Em boa parte, as coberturas apresentam-se como, tipicamente, lateritas, como é o caso das ocorrências das serras dos Pilões, Aldeia, Tiririca, do Contra Forte Central etc, produzindo um solo avermelhado com concreções e pisolitos ferruginosos.

Em toda a área do trabalho, tais capeamentos apresentam uma morfologia suave, sem expressões que sobressaíam no relevo regional, atingindo cotas além de 600 metros e mostrando também vários níveis, onde ciclos erosionais atuaram.

#### 4.1.12 - DEPOSITOS QUATERNÁRIOS

Sob a designação de depósitos quaternários, considera

mos os sedimentos recentes, aluviões, acumulados ao longo dos cursos d'água, ocupando suas calhas ou constituindo terraços fluviais.

Tais depósitos, geralmente cascalhamentos ã areno-argi-  
losos, encontram-se restritos aos vales dos rios sob forma de bancos de  
areia e cascalhos, às vezes diamantíferos, não ocupando maiores extensões  
exçeto os aluviões do vale do Jequitinhonha, do rio das Velhas e São  
Francisco, onde chegam a formar planícies de inundação.

Na serra do Espinhaço, os aluviões, na sua maioria, fo-  
ram originados pelo ciclo Pôs - Gondwana, enquanto que os da Bacia do  
rio das Velhas, bem mais frequentes, correspondem ao ciclo Velhas. Tam-  
bém no vale do rio Jequitinhonha, tais depósitos podem ser relacionados  
a um destes ciclos citados:

Alguns destes depósitos Quaternários, principalmente os  
de terraço, que se encontram distribuídos em diversos níveis, podem ser  
considerados como depósitos detríticos, porém, a sua separação seria di-  
fícil de se fazer na escala do trabalho.

É importante frisar que os aluviões da área considerada  
apresentam-se de grande importância, devido ao seu caráter diamantífero.

Aos depósitos Quaternário ao longo do rio São Francisco,  
MORAES REGO, em 1926, na Bahia, denominou de Fm. Vazantes, termo não  
mais aceito.

#### 4.1.13 - INTRUSIVAS BÁSICAS

A ocorrência de rochas básicas ou metabasitos, no nortede Minas Gerais, é relativamente freqüente, encontrando-se na sua maior parte, encaixadas no Grupo Espinhaço, bem como nas rochas dos complexos, porém, não aparecendo em unidades mais novas.

GUIMARÃES (1933), classificou estas rochas, como anfibolitos diabasoides, correspondendo a extrusivas hipoabissais, não devendo ser classificadas como metabasaltos, embora a denudação das formações onde elas ocorrem, faça com que sua presente posição superficial se confunda, a primeira vista, com rochas efusivas.

Os ciclos erosionais, que atuaram nesta região, no sentido de rebaixar o relevo, permitiram que, no estágio atual, estas rochas aflorem, cortando até rochas dos complexos mostrando assim que elas podem ser de várias gerações.

Segundo alguns autores, a frequência com que ocorrem estas básicas, em rochas do Grupo Espinhaço e mesmo em mais antigas e raras, praticamente no Grupo Macaúbas e ausentes no Bambuí, justifica seu posicionamento no Prê-Cambriano Superior.

Geralmente, estas intrusivas manifestam-se fortemente temperizadas, mostrando um material avermelhado, bem decomposto. Correspondem a diques ou sills de diabásio, preenchendo fraturas, com direções diversas. Quando fazem contato com rochas quartzíticas, este é nítido, apresentando-se às vezes cortado por veios de quartzo.

Estas rochas básicas podem alcançar espessuras consideráveis e, principalmente na serra do Espinhaço, sob a forma de diques tabulares, apresentam-se com extensões razoáveis e com grande frequência.

Devido à escala de trabalho, não foi possível mapear tais rochas, porém MORAES (1937) descreve exposições delas, junto ao rio Jequitinhonha, entre Desembargador Otoni e Terra Branca, a NW de Ita

cambira e serra do mesmo nome, em Barroão, região de Brejo das Almas, na serra do Gigante, entre Serrinha e São Gil, a SE de Grão Mogol nas en costas da serra do Cabral, próximo a Buriti Grande etc.

Na serra de Itacambira, devido a erosão dos quartzitos, estas rochas afloram cortando granitos e gnaisses subjacentes.

Também nos trabalhos de FRANK (1968), são locadas as ocor rências destas intrusivas básicas, numa parte da serra do Espinhaço (Folha Inhai).

#### 4.1.14 - INTRUSIVAS ÁCIDAS

As intrusivas ácidas, que ocorrem na região, encontram-se encaixadas nas rochas do Grupo Macaúbas, próximo a Coronel Murta, Virgem da Lapa e Araçuaí.

Nesta região nordeste (médio rio Jequitinhonha), estas intrusivas afloram constituindo um relevo montanhoso, que se destaca na topografia regional. Tais afloramentos, bastante frequentes, constituem-se de granitos que, devido à sua maior resistência à erosão, em compara ção aos xistos que lhes são circunjacentes, constituem belas exposições destas intrusivas, permitindo sua localização à distância.

Estes granitos, como já referimos, encontram-se encaixa dos no Grupo Macaúbas, cuja a litologia predominante são xistos de gra nulação fina, com orientações NE-SW, mostrando-se intensamente deforma dos.

Tais granitos ocorrem, como corpos homogêneos e em forma de grandes blocos, dentro dos xistos, apresentando-se com cores cinza, de granulação fina a média, ricos em biotita, com alguns fenocristais de feldspato e veios pigmatóides.

SÁ e KAWASHITA (1976) realizaram datações pelo método Rb/Sr em rocha total, dos xistos desta região, cujo os resultados alinham

se aproximadamente, ao longo de uma isocrona de referência com valor de  $600 \pm 50$  m.a. Para os granitos, obteve-se uma isocrona de  $513 \pm 7$  m.a. Com base nestes resultados, os autores acreditam que esta área está ligada a eventos tectônicos e magmáticos com idades correspondentes ao ciclo Brasileiro.

Na região sudeste de Goiás, são assinalados no mapa do Projeto Goiania I, corpos intrusivos ácidos próximos às localidades de Sesmaria e Pires Belo (GO).

#### 4.2 - TECTÔNICA

Apresentamos um esboço tectônico, na escala 1:1.000.000, baseado nas características das imagens LANDSAT, e em confronto com a literatura geológica disponível. Esta é uma iniciativa pioneira, visando complementar os resultados obtidos através de imagens LANDSAT.

Inicialmente, apresentamos em anexo uma tabela sinótica (vide ANEXO D1), com as diversas unidades geológicas e suas características sedimentares, magmáticas, metamórficas e estruturais, para auxiliar a associação das unidades e zonas tectônicas.

Na elaboração da Tabela sinótica foram adotados certos critérios para a descrição das unidades.

Os Grupos Araxá, Canastra, Espinhaço, Macaúbas e Formação Jequitã, correspondem as unidades geológicas descritas. O grupo Bambuí, no quadro, passa a ser dividido em duas partes, uma ocidental (Grupo Bambuí I) e outra oriental (Grupo Bambuí II).

O Grupo Bambuí II descrito na tabela, corresponde grossieramente as camadas Gerais de FREYBERG, podendo ser aplicado, em parte, a coluna estratigráfica de BRANCO (op.cit.).

O Grupo Bambuí I corresponde às camadas Indaiá de FREYBERG e não se deve levar em conta, nesta tabela, a coluna de BRANCO (op.cit.), somente a de BRAUN (op.cit.).

C-2

- 92 -

A Fm. Três Marias será considerada uma unidade à parte do Grupo Bambuí. Esta divisão teve somente a finalidade de facilitar a descrição das unidades.

Neste trabalho, abordaremos a área estudada em duas partes. A região ocupada pelo Craton do São Francisco e o Espinhaço (Setor Oriental), e a parte ocupada pela faixa de dobramentos Brasília (Setor Ocidental).

#### 4.2.1 - SETOR ORIENTAL

Neste setor descrevemos o Craton do São Francisco e os metamorfitos da serra do Espinhaço.

Há mais de duas décadas, vários estudos desta parte do Escudo Brasileiro tem-se desenvolvido, tentando assim uma compreensão maior da plataforma São Francisco.

GUIMARÃES (1951), que reconhece o Craton Sanfranciscano (Arqui-Brasil), como elemento estrutural do Escudo Brasileiro - introduziu o conceito de núcleos continentais, margeados por geossinclinais mais novos onde a bacia do São Francisco, seria um núcleo arcaico, margeada pelas formações proterozóicas da serra do Espinhaço.

BARBOSA (1954) descreve um ciclo geotectônico completo, partindo de uma evolução eogeossinclinal (Pré-Minas), com um miogeossinclinal (Minas) e culminando com as sequências pós-tectônica (Lavras e Bambuí).

PFLUG (1965 a) denomina "Maciço do São Francisco", a esta área cratônica, a leste da Cordilheira do Espinhaço, atribuindo-lhe

a responsabilidade pelo fornecimento dos sedimentos do geossinclíneo Minas. O autor, mostra que a serra do Espinhaço Meridional, durante o período de sedimentação da série Minas, foi a zona marginal de uma grande ortogeossinclinal (segundo STILLE, 1936; 1941; KAY, 1951, DIETZ 1963), e descreve a interdigitalização de fácies (Mioges e eogeossinclinal).

SUSZCZYNSKI (1966), aplica o conceito de ciclo geotectônico (HARPUM, 1960), quando aborda a parte oriental do Escudo Brasileiro Oriental, à leste da faixa orogênica de Brasília, incluindo tanto a bacia do rio São Francisco, como a faixa orogênica da serra do Espinhaço.

PFLUG et alli (1969) reconsideram o Craton Sanfranciscano como uma área mais restrita, ocupada atualmente pela bacia do alto rio São Francisco, limitando-se a leste pela serra do Espinhaço desde o Quadrilátero Ferrífero até a serra do Boqueirão (Ba). Concluem que a serra do Espinhaço e suas zonas adjacentes foram estruturadas por dois ciclos orogenéticos: o ciclo Pré-Minas, o qual se verificou em região já parcialmente cratonizada; e o ciclo Minas/Bambuï, que se iniciou pela formação de um ortogeossinclinal ao redor de núcleos continentais mais antigos.

O limite a oeste, deste Craton de idade Transamazônica (1800-2200 m.a), se dá com a faixa de dobramento marginal Brasília, como será descrito mais adiante.

Apresentamos a seguir uma síntese das considerações feitas por PFLUG (1965, 1967), PFLUG et alli (1969), PFLUG et all (1973), do estudo da evolução tectônica da área correspondente à Cordilheira do Espinhaço.

PFLUG (1965) aplicou o conceito de geossinclinal e distribuição de fácies, para a região mineira, a leste da bacia do São Francisco, apresentando em seu trabalho, o esquema evolutivo da sedimentação da "Série Minas" da fase pós orogênica, com a deposição de sedimentos da "Série Lavras", e o início da sedimentação da "Série Bambuí",



na bacia do São Francisco, que começou a subsidir no início da orogênese do Espinhaço.

PFLUG et al (1969), depois dos trabalhos de 1965 e 1967, considerando a evolução desta cordilheira, resultante dos dois ciclos Pré-Minas e Minas/Bambuï, chegam às seguintes conclusões:

1. Existência de uma região estabilizada, antes da deposição do Grupo Minas (Craton do São Francisco).
2. Na borda do Craton, formou-se um grande ortogeossinclinal, onde depositou-se o Grupo Minas, com fácies clásticas grosseiras (fácies Diamantina), indicativas de regiões marginais, menos estabilizadas e ocupadas pelo miogeossinclinal Minas.
3. Com os dobramentos da zona central do geossinclíneo, inversão do relevo, iniciou-se a deposição do Grupo Bambuï, em fácies de plataforma, na bacia que se começava modelar (mostrando que as fácies clásticas finas e carbonáticas, do Bambuï, correspondem a contribuição de áreas cratonizadas).
4. Sedimentos sinorogênicos nas zonas marginais, também, começaram a ser fornecidos pelas zonas centrais do geossinclíneo. Estes sedimentos, correspondentes a Fm Macaúbas, se interdigitam com o Bambuï típico, ao dirigirem-se para o craton (restrito, portanto, somente às zonas marginais do ortogeossinclinal Minas).
5. Estabelecem que as discordâncias, entre Minas e Bambuï, são sinorogênicas, e que o grau de metamorfismo, as deformações e dobramentos atingiram as duas unidades da mesma maneira, mostrando que houve um processo contínuo, no qual a discordância marca a inversão de relevo que acompanhou a orogênese do geossinclíneo.
6. Os dois mapas apresentados (distribuição de fácies e de estilo tectônico) mostram que os núcleos cratônicos controlam a distribuição das zonas de fácies, e que o comportamento, das estruturas tectônicas e das zonas de metamorfismo, apresenta eixos de dobras contornando os núcleos cratônicos. As vergências são dirigidas em direção ao Craton, embora o estilo tectônico, localmente, possa variar consideravelmente, devido ao grau de estabilidade da

crosta pré Minas subjacente, e a espessura dos quartzitos.

7. Devido às similaridades em dimensões, distribuição de fácies eogeossinclinal, ocorrências de rochas ultrabásicas e básicas, continuidade dos eixos de dobras, vergências, distribuição de zonas metamórficas, influência de regiões cratônicas, comparam o geossinclinal Minas com outros do Pré-Cambriano-Otavi/Damara, África do Sul, Karelium/Svionum, Escudo Báltico, Labrador, etc.

PFLUG (1973) correlacionava as sequências de quartzitos e filitos, das principais serras do Espinhaço, com as sequências do Quadrilátero Ferrífero, bem como os xistos e gnaisses logo a leste da cordilheira. Dentro deste conceito, estabeleceu para a região do Espinhaço três grandes unidades, separadas por discordância angular: Pós-Minas, Minas e Pré-Minas.

Salienta que o magmatismo do "Super-Grupo Minas" é típico de sequência geossinclinal (magmatismo inicial de STILLE), com rochas básicas e ácidas concentradas no "fácies Itabira" (borda externa do geossinclinal), embora outras fácies possam conter rochas magmáticas sint sedimentares.

O "Super Grupo Minas" é afetado por forte tectonismo, comprimindo a bacia geossinclinal em direção ao antepaís (Craton São Franciscano), resultando dobras de diversas ordens de grandeza e cavalgamentos. Sedimentos clásticos formam-se na faixa do geossinclinal, em bacias de extensão menores. A sedimentação predominantemente pelítica e química, surge com a presença de um mar Epicontinental, resultado da subsidência do antigo craton.

A esta nova distribuição paleogeográfica, do chamado "Super grupo São Francisco", correspondem os sedimentos posteriores do soerguimento da Cadeia Minas.

pectivamente, incidiram tanto na sedimentação (parte basal) como, principalmente, no estilo tectônico dos grupos Bambuí e Macaúbas. O transporte tectônico das bordas, com vergência para o craton do São Francisco, originou as extensas falhas de empurrão, ou inversas, fazendo jogar rochas destas faixas, sobre as rochas do Super-Grupo São Francisco. Devido, aos esforços tangenciais, as seqüências pelíticas-carbonáticas da bacia do Bambuí exibem estilos de dobramentos complexos, próximo as bordas, que minimiza para o centro da bacia.

Na análise do mapa geológico, percebe-se o paralelismo estrutural das rochas calcárias, filíticas e ardósianas dos Grupos Macaúbas e Bambuí com a curvatura do bordo ocidental do Espinhaço. (domínio do geossinclíneo Espinhaço).

Notável tectônica ruptural é mostrada tanto pelos Grupos Espinhaço, Macaúbas e Bambuí. Este sistema ruptural com direções aproximadamente norte-sul e leste-oeste, de idade pré-cambriana, foi sucessivamente reativadas atingindo o cretáceo.

Como se pode ver REINHARD PFLUG, é um dos pesquisadores que mais estudos executou na serra do Espinhaço. ALMEIDA (1976b) propõe uma nova faixa de dobramentos para esta área, constituída após a consolidação do cinturão do Espinhaço, a cerca de 1.000 m.a. Esta faixa proposta, com nome de Cinturão Araçuaí, desenvolveu-se em condições mio geossinclinal, na região correspondente à deposição do Grupo Macaúbas. A seqüência constituinte deste faixa é de depósitos detríticos, com até 2000m de espessura, mostrando polaridade e metamorfismo crescente a partir da borda do craton, atingindo o fácies anfibolito com cianita. Apresenta intrusões graníticas (p.e. Coronel Murta, Araçuaí - MG). Sendo conhecidas também rochas vulcânicas na parte superior do Macaúbas.

#### 4.2.2 - SETOR OCIDENTAL

##### FAIXA DE DOBRAMENTOS BRASÍLIA

A faixa dobramentos Brasília, situada na borda ocidente

tal do Craton São Franciscano, foi definida por ALMEIDA (1967), como "Cinturão de dobramentos Brasília". Compreende as estruturas "Brasili<sup>des</sup>", de J. KEIDEL, e as estruturas "Araxaides", de M. EBERT, de car<sup>ter</sup> miogeossinclinal e eogeossinclinal respectivamente.

A faixa miogeossinclinal é composta de metassedimentos ~~tec~~ tonizados no ciclo Baikaliano, cuja sequência terrígena inferior ~~en~~ cerra filitos, micaxistos, paragnaisses, quartzitos e calcários, do Grupo Canastra e pro parte do Grupo Araxá. Seguem após, as formações carbonatadas de pré-inversão dos calcários da Fm. Sete Lagoas, recobertas pela sequência terrígena superior, representada pelos arcóseos Tr<sup>ês</sup> Marias. O eogeossincl<sup>íneo</sup> correspondente, seria composto por biotita-xis<sup>tos</sup>, mármore, paragnaisses, quartzitos, anfibolitos, metabasitos, e outras rochas do Grupo Araxá.

Esta faixa de dobramentos, ainda segundo ALMEIDA (op.cit), juntamente com a faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia, formaria um grande geossincl<sup>íneo</sup> biliminar ou bmarginado, ou por geossinclinal de polaridade centrífuga, tendo uma área interna comum, de simetria diver gente, a partir de rochas pré-Baikalianas, constituindo um "ZWISCHENGEBIRGE" ou pós país (Maciço Mediano Goiano).

ALMEIDA (1968), em trabalho posterior, redefine este sistema geossinclinal: "Supunhamos originalmente, que o Grupo Araxá representasse o eogeossincl<sup>íneo</sup> coevo do miogeossincl<sup>íneo</sup> Brasília, mas as observações de campo, as pesquisas geocronológicas e a distribuição geográfica do Grupo Canastra tem demonstrado ser esta mais novo que o Grupo Araxa".

Desta maneira, o Grupo Araxá, que repousa em discordância angular sobre o complexo basal, constitui metassedimentos de caráter eogeossinclinal, penetrado por sienitos e grande número de intrusões básicas-ultrabásicas; o miogeossincl<sup>íneo</sup> é composto pelos Grupos Canastra e Bambuí, as formações Paracatu e Cristalina constituindo o estágio estrutural inferior. A Fm. Paranoá, em discordância angular sobre o ~~têr~~ mo da sequência Canastra, inicia o estágio estrutural seguinte (o qual

foi adotado pela Carta tectônica do Brasil (1972) como estado médio e superior), composto, ainda, pelas Fm. Sete Lagoas, e Rio Paraopeba, a última, Membro Três Marias, de caráter molassoide.

ALMEIDA e HASUI (1970) explicam a extemporaneidade entre as sequências do eogeossinclíneo e do miogeossinclíneo, com uma interpretação policíclica, considerando o Grupo Araxá como pertencente ao Ciclo Uruaçuano (1300-900 milhões de anos), e os Grupos Canastra e Bambuí como pertinentes ao ciclo Brasileiro (900-550 milhões de anos), antigo e recente respectivamente. Isto é ratificado na Carta Tectônica do Brasil (op.cit): "Os sistemas de dobramentos Brasileiros desenvolveram-se em regiões da crosta afetadas por longa instabilidade, onde os sistemas de dobramentos anteriores não tiveram condições de consolidá-los definitivamente".

COSTA e ANGEIRA (1969), analisando as evidências da polaridade geossinclinal (orogênica e sedimentar), no cinturão de dobramentos do Brasil Central, reconhecem sete zonas isópicas (zona cratônica, zona pericratônica, zona miogeossinclinal, zona subgeoanticlinal, zona miogeo-anticlinal e zona eogeossinclinal, e o embasamento antigo, pré-Baikaliano), como partes de um amplo sistema geossinclinal, policíclicamente, desenvolvido durante um longo ciclo Baikaliano de 1000 m.a ( $\pm$  1500-500 m.a).

O eogeossinclíneo (ciclo Minas-Uruaçuano), e o miogeossinclíneo (ciclo Brasileiro), segundo os autores citados, constituiriam um "quase-ortogeossinclíneo", evoluindo "paralelamente no espaço e progressivamente no tempo", compreendendo todo o ciclo Baikaliano. Os ciclos Minas-Uruaçuano e Brasileiro, constituindo meras fases diastroficas dentro de um processo geossinclinal.

Baseados em autores russos, (SHATSKY, 1957 e BELIANKINA, 1968), salientam que um ciclo deve ser estabelecido nas fases de transformação de uma província orogenética, em plataforma ("platform-making"). Os mesmos COSTA e ANGEIRAS (op.cit.) propõem que os ciclos Brasileiro e Uruaçuano, desta faixa de dobramentos, sejam englobados dentro do Ciclo

Brasiliano, ampliado de "800-550 m.a" para 1500-550 m.a.

A contribuição do "flysch para o miogeossinclíneo, é da da pelo orogênese do eogeossinclíneo (Auboin pag. 111). Portanto e naturalmente, as formações miogeossinclinais são mais novas que as formações eogeossinclinais de um mesmo sistema geossinclinal.

COSTA e ANGEIRAS (op.cit.) tomam que as seqüências do Grupo Araxã, eogeossinclinal, estariam progressivamente correlacionadas a membros do Grupo Canastra, e seqüências mais ocidentais do Grupo Bambuí, de fácies miogeossinclinal.

A seqüência miogeossinclinal, (Grupo Canastra e Bambuí), inicia-se pelo Grupo Canastra em contato discordante (?), com as rochas do Grupo Araxã, e mostra magmatismo ausente. A seqüência eogeossinclinal, ao contrário, mostra intenso magmatismo. Ambas seqüências mostram polaridade sedimentar e orogênicas características. Apresentam porém um desfecho orogenético distinto, em espaço e ou tempo.

Os dados existentes não são conclusivos para as faixas Uruaçu. Datações indicam que o ciclo Brasiliano rejuvenesceu as rochas do Uruaçuano, que possuem resultados significantes de 1.000 m.a, correspondentes à idade mínima de metamorfismo. Segundo ALMEIDA (1976), os valores de 1300 m.a e 1.000 m.a podem corresponder aos limites de regeneração e evolução tecto-orogênética do ciclo Uruaçuano.

As características conhecidas destas seqüências rochosas, como estruturas, magmatismo, metamorfismo etc, assim como as datações geocronológicas, devido o "inprint" do Brasiliano nas rochas desta porção ocidental de Minas Gerais, até o momento não parecem ser definidoras da evolução tectônica da região.

AMARAL et alli (1976), salientam a possibilidade de passagem gradual dos metamorfitos do Araxã para rochas do grupo Bambuí. ALMEIDA (op.cit.) também saliente este aspecto: "The Araxã Group looks like to pass gradually to the metamorphites of the Brasília belt, as result, the border between the two units is not easily marked". Apesar de considerar bem possível que o limite oriental da faixa Uruaçu, seja falha

mento de empurrão carreando o Grupo Araxá sobre as unidades do Cinturão Brasília.

A evolução desta faixa, por nós tratada como faixa Brasília, como resultado de um ou mais ciclos orogênicos, parece, para os diferentes autores, um problema de desfecho. Não ficando esclarecido para alguns, e taxativo para outros, o término e início dos ciclos Uruaçuano e Brasileiro, ou como um todo, a partir da evolução dentro de um ciclo único.

Sob o ponto de vista metalogenético, existem duas províncias bem distintas. A faixa Uruaçu, possuidora de uma metalogenese mais rica, com um cinturão peridotítico, mostrando mineralizações de Cr, Ni e asbestos. E a outra faixa, Brasília, com magmatismo ausente, com depósitos sedimentares de fosfato e depósito singenético de Pb e Zn, remobilizados nas zonas de falha. São províncias metalogenéticas constituídas em espaço e ou tempo diferentes, e mineralizações, formadas dentro de certas fases desta faixa de dobramentos. Fica em aberto então, o aspecto destas fases serem meramente diastróficas dentro de um longo ciclo (Baikaliano), ou resultantes de dois ciclos orogênicos consecuentes (Uruaçuano e Brasileiro).

#### LIMITES DA FAIXA DE DOBRAMENTOS

As sequências, que serão apresentadas adiante, ocorrem todas, exceção à sequência molassoide, a oeste do rio São Francisco, como se pode observar no esboço (vide anexo A.3). Iniciam-se a norte, entre Brasilândia e Bonfinópolis de Minas e, a sul em João Pinheiro, observando-se estruturas paralelas e subparalelas com uma direção predominante NNW, bem observável nas imagens LANDSAT, porém mais esparsas que aquelas da região do rio Preto.

Esta região de Brasilândia está limitada a leste pelo grande falhamento que se prolonga desde a serra de São Domingos ("Falha de São Domingos"). Este mesmo limite, a sul está encoberto por rochas

da Fm. Três Marias e cretácicas, podendo corresponder, como fizeram COSTA et alli (1970) e ALMEIDA (1976 b), à falha seguida, nas imagens LANDSAT, desde Canoeiros (MG) até ocultar-se nos depósitos areno-argilosos do rio Paracatu. A oeste, o limite desta região corresponde ao outro grande falhamento, que passa na serra do rio Preto ("Falha do rio Preto"). A esta área descrita, COSTA et alli (op.cit.) consideram como zona pericratônica, sendo sua passagem para o domínio cratônico, tanto brusca como transicional.

A zona de lineamentos intensos (dobramentos e falhamentos), da região do rio Preto (Unaí-MG), situa-se dentro já da "faixa-miogeossinclinal" (DNPM-168, COSTA et alli-1970), que se prolonga até oeste de João Pinheiro (MG). Nesta zona, caracteriza-se um padrão de dobramento bastante contínuo e estreito, holomórfico típico (ver Fig.IV.2, ver também anexo A.2).

Seguindo-se para oeste, as estruturas tornam-se menos frequentes, mais esparsas e sem um padrão definido (é bom salientar que esta região apresenta-se bastante dissimulada, devido aos ciclos erosionais e às coberturas). Na serra dos Pilões, os quartzitos estão todos orientados para noroeste, constituindo altos, junto com a região de Cristalina (GO) e Brasília (DF), correspondendo aos limites da zona miogeoanticlinal (vide Fig. IV.2) de COSTA et alli (1970).

A noroeste de Paracatu (MG), as estruturas parecem interromperem-se para ocidente, o que levou muitos autores, a colocarem como falhamento de empurrão e limite da faixa miogeossinclinal Brasília (DNPM, 1968), ALMEIDA, (1972 e outros), limite também da zona subgeanticlinal de COSTA e ANGEIRAS (op.cit.).

O limite da sequência miogeossinclinal, neste trabalho, corresponde a uma linha sinuosa, que passa a norte de Luziânia, oeste de Cristalina e sul-sudoeste de Santo Antônio do Rio Verde (GO), correspondendo ao contato do Grupo Araxá, com os Grupos Bambuí e Canastra. Este limite, em certos trechos, é assinalado como falhamento de empurrão.



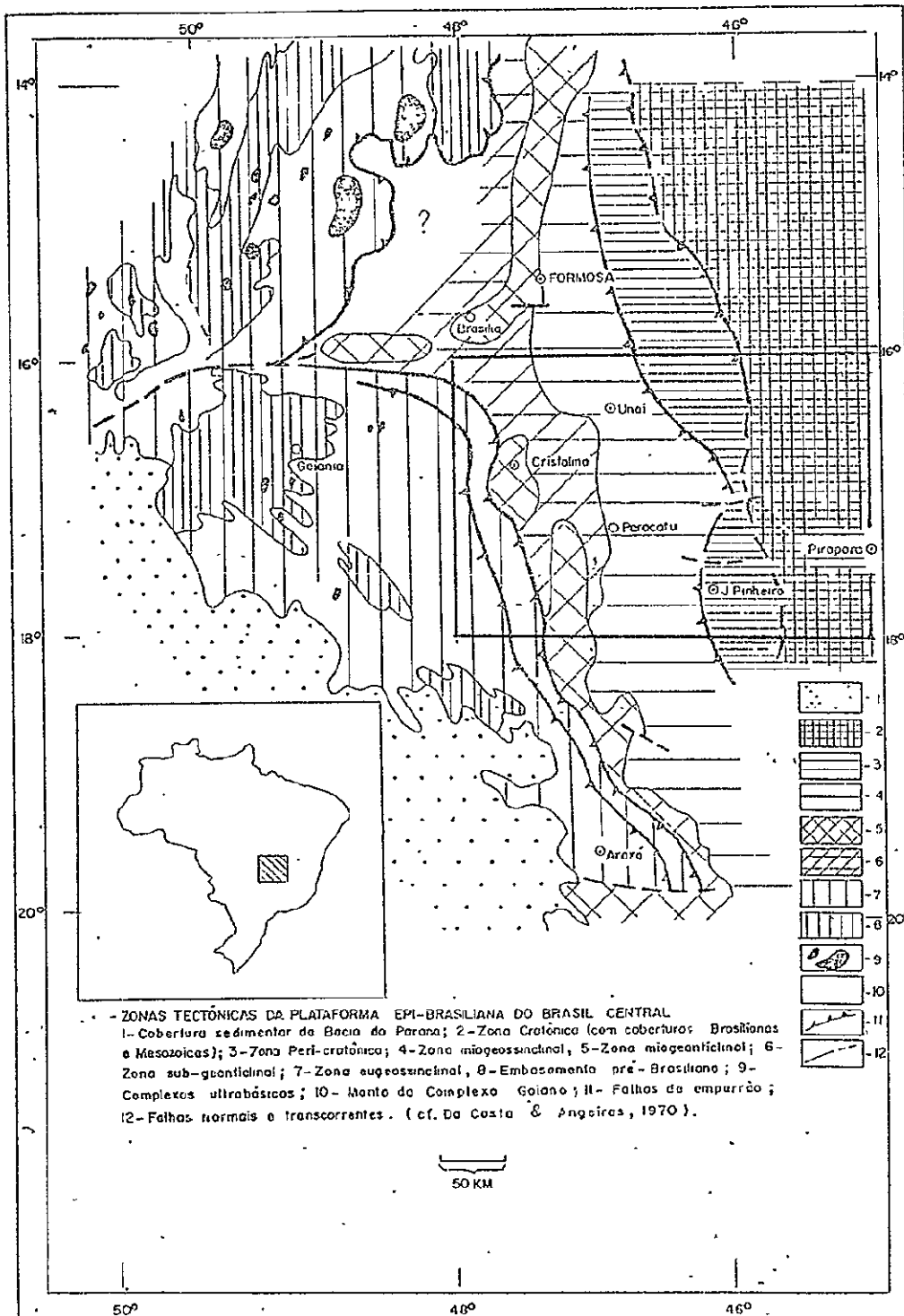


Fig. IV.2 - Zonas Tectônicas da Plataforma EPI-Brasiliana do Brasil Central.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

A sequência eogeossinclinal, cujos os limites ultrapassam a área mapeada, apresenta estruturas arrasadas, podendo-se mesmo assim identificar uma série de lineamentos, anticlinais e sinclinais, falhas e fraturas (NW), principalmente a sul de Santo Antônio do Rio Verde.

Pelo exposto, podemos concluir que existe uma vergência orogênica e sedimentar, no sentido de oeste para leste, de todas estas sequências, caracterizadas pela diminuição do grau de metamorfismo neste região, e mudanças das sequências sedimentares.

#### 4.2.3 - UNIDADES TECTÔNICAS

Apresentamos a seguir a divisão adotada, baseada em uma interpretação bastante flexível, para as faixas de dobramento. A faixa de dobramentos neste trabalho, referimo-nos, sempre, no sentido de RAST (1969).

Incluem-se nesta divisão as rochas metamórficas da serra do Espinhaço, que se apresentam afetadas por grau considerável de deformação e metamorfismo.

##### - Complexos.

Trata-se das sequências rochosas compostas por granitos, gnaisses e xistos, consolidadas em ciclos pré-Brasilianos, e afetadas, com rejuvenescimento, nos ciclos posteriores.

##### - Sequências metamórficas do Espinhaço

Correspondem às litologias do Grupo Espinhaço, as quais apresentam-se bastante afetadas por dobramentos (N-NE) e falhamentos de empurrão. Distribui-se na serra do Espinhaço e serra do Cabral, onde possui, metamorfismo de fácies xistos-verdes. O metamorfismo é do tipo Barroviano, podendo mesmo atingir o grau de mesozona. Compreende a faixa de dobramentos do Espinhaço (CARTA TECTÔNICA DO BRASIL-1972, ALMEIDA 1976b, DNPM 1963).

- Sequências Metamórficas e Metassedimentares Macaúbas.

Incluem somente os metamorfitos do Grupo Macaúbas definidos para a serra do Espinhaço. Este conjunto de rochas, com xistosidade bem pronunciada, ocupa a maior parte da serra do Espinhaço, limitando-se a sudeste, região de Capelinha, Itamarandiba, com os complexos. Os metaconglomerados desta sequência apresentam-se de formados, com os seixos alongados. Na região de Coronel Murta e Araçuaí, se podem observar algumas intrusões ácidas (granitos). Esta sequência apresenta metamorfismo de baixo grau e crescente para leste. Corresponde à sequência detrítica da faixa Araçuaí de ALMEIDA (1976 b), à distribuição da sequência miogeossinclinal de PFLUG (1973), e à sequência miogeossinclinal Catunides do DNPM (1968).

4.2.3.2 - FAIXA DE DOBRAMENTOS "BRASILIA"

Sequências metamórficas de caráter eogeossinclinal. Ocorrem no setor mais ocidental da área mapeada, compreendendo os metamorfitos do Grupo Araxá. São as sequências, do setor, com maior grau metamórfico (atingem o grau epidoto-anfibolito), e com evidência de intrusões magmáticas (granodioritos, pegmatitos). Correspondem estas sequências metamórficas ao ciclo Minas-Uruaçuano de ALMEIDA (1968) e ANGEIRAS et alii (1970), representando a faixa URUAÇU de ALMEIDA (1976 b).

SEQUÊNCIAS METAMÓRFICAS E METASSEDIMENTARES DE CARÁTER MIOGEOSSINCLINAL

Compreendem as sequências litológicas dos Grupos Canastra e Bambuí, ocorrentes a oeste do rio São Francisco.

- SEQUÊNCIA TERRIGENA

Nesta sequência incluem-se as litologias do Grupo Canastra, as quais mostram uma predominância de sedimentos pelíticos a psamíticos. Apresenta estruturas com direções NNW, com metamorfismo de grau de xistos verdes, constituindo a sequência inferior da faixa miogeossinclinal. Corresponde à distribuição da faixa Goianides do DNPM (1968), zona miogeoanticlinal de COSTA e ANGEIRAS (1969).

- Sequência Mista e Carbonática.

É composta pelas formações Paranoá (terrigena), e Paraopeba (mista e carbonática), do Grupo Bambuí. Trata-se de uma sequência bem variada, incluindo calcários, dolomitos, arcóseos, quartzitos, filitos, ardósias, etc. É a sequência com maior variedade litológica, desta faixa de dobramentos, e com volume de rochas carbonáticas. Apresenta características de deposição em ambiente nerítico, o que torna a estratigrafia muitas vezes difícil, existindo uma variação horizontal e vertical muito grande dos componentes litológicos. Os calcários (dolomitos) são descontínuos e mais predominantes no eixo Unaí-Vazante, região onde a variação litológica mais se acentua. É bem possível que a formação Paranoá faça parte da sequência terrígena inferior, e constitua, também, uma formação separada do Grupo Bambuí. Esta unidade corresponde grosseiramente ao Tectonogruppo Formosa da COSTA e ANGEIRAS (1971), e aos "calcários" de pré-inversão de ALMEIDA (1969).

- Sequência Metassedimentar afetada por dobramentos

Formada principalmente por ardósias e, secundariamente, por arcóseos e raros calcários. Apresenta um dobramento menos intenso e uma variedade litológica menor que a sequência anterior. Fica situada entre os falhamentos de Unaí ("falha do Rio Preto") e o falhamento de São Domingos. A sua passagem para a zona do craton não é bem conhecida. Próxima a ele os dobramentos são mais esparsos e de pequena amplitude. Corresponde à zona pericratônica de COSTA e ANGEIRAS (1971).

- Sequência molassoide.

Distribui-se na porção central da área mapeada, tanto sobre a zona dobrada (faixa de dobramento), como na região de coberturas não dobradas (craton). Correspondem aos arcóseos Três Marias, fazendo parte da sequência Terrígena Superior. Esta sequência é chamada molassoide, por não possuir as características típicas de uma molassa e mostra a ausência de magmatismo, como toda a faixa miogeossinclinal (referências: ALMEIDA, 1968, COSTA e ANGEIRAS 1971, DNPM 1972).

#### 4.2.3.3 - COBERTURAS-CRATON DO SÃO FRANCISCO

Compreende aquelas coberturas do craton do São Francisco, que aparentemente não foram afetadas por grandes deformações, sujeitas somente a uma tectônica plataforma.

#### COBERTURAS PRÉ-CAMBRIANAS

##### COBERTURAS COM PREDOMINÂNCIA DE CLÁSTICOS

Abrangemos clásticos da Fm. Jequitaí, com contribuintes de origem glacial, diamictitos, filitos e arenitos, destituídas de sedimentos cartonáticos, e anteriores a deposição do Grupo Bambuí. São sequências com dobramentos descontínuos (idionórficos), não apresentando grau de deformação apreciável. Podem ser correlacionadas no tempo, com os metamorfitos Macaúbas, porém em ambiente (espaço) de formação diferente.

##### COBERTURAS COM PREDOMINÂNCIA DE CLÁSTICOS E QUÍMICOS

Compreendem as litologias do Grupo Bambuí, depositadas sobre o craton, as quais são constituídas de fácies clásticas finas e carbonáticas. Estas depositaram-se logo após a deposição da Fm. Jequitaí, ou mesmo, em alguns lugares, podem estar interdigitadas com os membros litológicos mais superiores desta. Apresentam camadas horizontais e subhorizontais, que mostram proporções de químicos e clásticos finos maiores que as litologias correspondentes da faixa dobrada. As estruturas, como as demais coberturas, são resultantes, na maior parte, de tectônica rígida ("blockgebirge" de STILLE, AUBOIN, 1965, pp 21), com dobramentos idionórficos.

##### COBERTURAS MESOZOICAS E CENOZOICAS

Incorporam aqueles depósitos arenosos e areno argilosos, detríticos, formados na reativação mesozóica ("WEALDENIANA").

Trata-se dos depósitos (mesozóicos) das Formações Areado e Urucuia, ausentes de magmatismo (fissural, toleítico), com pequenos falhamentos e fraturas. Denotam um comportamento de uma crosta estável e rígida.

A acumulação deste tipo de depósito começou com a subsidência, depois do Triássico, da bacia do São Francisco. O rebaixamento da bacia de deposição dos arenitos Areado e Urucuia deu-se em condições de lenta subsidência, visto que os conglomerados não apresentam características de deposição rápida (espessura, maturidade etc), e distribuem-se com expressão vertical modesta e deposição areal bastante extensa.

Os depósitos Cenozóicos são bastante variados e formados em condições diversas. Os depósitos terciários, da chapada de São Domingos, são os mais expressivos, atingindo até uma centena de metros, formados em uma bacia restrita na serra do Espinhaço, e compostos de arenitos com níveis argilosos.

#### 4.3 - RECURSOS MINERAIS

Através do conhecimento da geologia de uma região é que se tem uma base fundamental para as descobertas de rochas e minerais úteis.

O fato de certos recursos minerais não formarem depôsitos economicamente aproveitáveis, nunca será motivo para não cadastrá-los, pois os depósitos atualmente atribuídos como não aproveitáveis, devido mesmo à falta de tecnologia de aproveitamento atual que os tornem econômicos, além de servirem para estudar a sua distribuição e modo de jazimento, contribuindo para o conhecimento dos fatores condicionantes do seu "emplacement", podem vir a ser depósitos de valor econômico no futuro, em função da demanda e desenvolvimento tecnológico.

O Grupo Bambuí, devido ao seu caráter litológico e estrutural, constitui a unidade mais importante na prospecção de minerais metálicos como chumbo e zinco e sua clã paragenética. A ocorrência destas mineralizações estão, geralmente, associadas às rochas carbonatadas, e suas concentrações estão relacionadas a áreas afetadas por falhas e dobras. Apresentam também estas rochas, bom condicionamento para mineralizações de fosfato, fluorita e barita. Da mesma forma que estes minerais, o diamante, ouro e quartzo constituem riquezas minerais da área, as quais desde o início do século . tem sido explorado. As ocorrências minerais são sumariadas na tabela IV.3.

#### - Zinco, Chumbo, Prata e Cobre

As suas jazidas formam o mais importante depósito mineral da área estudada. Estes minerais concentram-se em zonas de predominância de calcários do Grupo Bambuí. Segundo AMARAL (1974), o eixo entre Vazante (MG) e Itacarambi (MG) tem sido motivo de diversos estudos, com as descobertas dos depósitos da região de Vazante. Tais depósitos, estão geralmente associados a zona de falha ou as vezes a mineralização é disseminada formando pequenos depósitos com a presença de fluorita e vanádio, que podem ser explorados como subproduto.

As principais ocorrências de zinco e chumbo podem ser assim descritas:

Distrito de Vazante - é explorado o minério oxidado associado brecha hematítica.

Região de Morro Agudo (MG) - situada na estrada Vazante - Paracatu (MG), ocorrem depósitos de galena, esfalerita e pirita, em veios de quartzo, associados a falhas e fraturas, ou galena e esfalerita associadas a dolomitos com mineralização estratiforme.

Região de Brasília de Minas - (São João da Ponte) - também apresentando mineralizações associadas a zonas de falha, que cortam calcários intercalados com folhelhos.

As zonas com maior permeabilidade à circulação de águas subterrâneas, em especial as áreas afetadas por falhamentos e fraturamentos segundo Amaral (op.cit), são as de maior importância para a prospecção destes depósitos. A região de Coromandel (MG) até Paracatu, apre

senta várias lentes calcárias, afetadas por processos tectônicos, as quais são bem favoráveis a estes depósitos minerais. O eixo de Paracatu a Unaí, talvez venha a se constituir numa excelente área para a prospecção destes recursos, já que são abundantes as lentes de calcários e dolomitos, contribuindo também o dobramento e falhamento imposto a estas litologias. Sob o ponto de vista estrutural, esta constitui-se em uma das melhores áreas do Grupo Bambuí, para tal prospecção.

Existem descrições de ocorrências de minerais não metálicos como barita, fosfato, fluorita, que aumentam o interesse econômico das rochas deste grupo.

#### Calcário.

A lentes de calcário do Grupo Bambuí, com espessuras consideráveis, tornam-se de expressão econômica. Estes calcários, relativamente puros, com teores baixos em sílica, tem sua utilização na fabricação de cimento, cal, corretivo de solo etc. As reservas mais importantes encontram-se nas regiões de Montes Claros, Buenópolis e Unaí todas em Minas Gerais.

#### Diamantes e Ouro.

Os diamantes são praticamente lavrados a partir dos conglomerados diamantíferos do Grupo Espinhaço de jazidas residuais que capeiam estas rochas e, em maior escala nos depósitos aluvionares dos rios Jequitinhonha, Araçuaí, Velhas, Jequitaí e seus afluentes.

O ouro aluvial, a exemplo do diamante, é largamente dessiminado, porém, uma lavra direta visando este mineral, não existe atualmente, sendo obtido como sub-produto da lavra do diamante. Provavelmente associa-se a veios de quartzo ou a depósitos detriticos mais antigos, como os para conglomerados do Gr. Macaúbas. Sua exploração, concentra-se nos rios das Velhas, Jequitaí, Jequitinhonha parte média do Araçuaí, na porção sudeste de Goiás (em veios de quartzo), nos Grupos Bambuí e Canastra. ALMEIDA (1968) saliente que as rochas pelíticas do estágio inferior da faixa de dobramentos (Gr. Canastra) são por toda a parte auríferas.

#### Quartzo (Cristal de rocha)

Predominantemente situadas nas regiões de Cristalina (serra dos



Cristais-GO) e serra do Cabral (MG), existem veios, geodos e drusas de cristal de rocha, com valor econômico de exploração.

Provavelmente de origem hidrotermal, ou com associação de pegmatitos, preenchem fratura nas rochas quartzíticas. O cristal de rocha enfumaçado acha-se associado em quartzitos sericiticos e nos filitos. Concentram-se, os veios de quartzo, nas rochas dos Grupos Espinhaço, Macaúbas e Bambuí.

Existem ainda, ocorrências de cristal de rocha nas localidades de Buenópolis, Salinas (em pegmatitos), e serra de Itacambira, todas em Minas Gerais.

Além dos depósitos minerais citados, a área abrangida pelo trabalho apresenta inúmeras outras ocorrências minerais de interesse econômico. Ocorrem depósitos de ferro (Itabiritos) em sedimentos do Gr. Macaúbas, na região do rio Peixe Bravo. Nos xistos verdes do Gr. Araxá, ocorrem níveis de cassiterita, e os serpentinitos são portadores de cromita e talco (BRAUN, 1970).

As regiões de Araguaí, Salinas e Fortaleza constituem uma província pegmatítica bastante rica em ocorrência minerais, como os depósitos de turmalina, berilo, água marinha etc.

A este da serra do Espinhaço, um estudo das intrusivas ultrabásicas poderá levar ao conhecimento de ocorrências de cobre, cobalto, platina, níquel, cromo, bauxita, etc.

TABELA IV.3

QUADRO SINÓPTICO DAS OCORRÊNCIAS MINERAIS

RECURSO MINERAL	LOCALIZAÇÃO E OBSERVAÇÃO
Zn, Pb, Cu	Vazante (MG), Mina do Ingã. Depósito filoniano brecha de falha.
Zn,Pb, Cu	Vazante (MG), Cia.Mineira. Depósito filoniano. brecha.
Zn, Pb	Vazante (MG). Morro Lapa Nova. Depósito filoniano.
Pb, (Zn)	Morro Agudo (MG). Depósito filonianos e disseminado.
Pb, Zn, Ag	Paracatu (MG). Faz. Trairas. Disseminado e veio de quartzo.
Zn, Pb	Brasília de Minas (MG). Veios de calcita.
Cd	Vazante (MG). Minérios primários de zinco.
Au	Veios de quartzo dos filitos do Gr. Canastra.
Au	Paracatu (MG). Morro das Almas. Aluvionar.
Au	Minas Novas (MG). Vale do Araguaí - jazidas primárias, depósitos de aluvião, veeiros de quartzo. Ainda nos rios Jequitinhonha, Velhas e Paracatu.
Mn	Associado aos filitos do Gr. Macaúbas; às ardósias do Gr. Bambuí e aos xistos do Gr. Araxá.
Va	Veios enriquecidos em vanadinita e descloizita, junto ao contato dos veios, como nas planícies de estratificação dos dolomitos do Gr. Bambuí.
Fe	Itamarandiba (MG), Itabiritos.
Fe	Região do médio Vacarias. Peixe Bravo. Itabiritos.
Ni	Xistos do Araxá (ultrabásica), e ultrabásicas do Espinhaço.
Co	No Grupo Araxá (asbolana), ligada a complexos ultrabásico.
Cr	Complexos ultrabásicos nos micaxistos do Gr. Araxá
Sn	Provincia estanífera no nordeste de Minas Gerais. (Araguaí, Salinas, Virgem da Lapa).
Pt	Nas fraturas dos quartzitos Espinhaço e Conglomerados dos Macaúbas (intrusões nas rochas dos Grupos Espinhaço.

continuação Tabela IV.3

RECURSO MINERAL	LOCALIZAÇÃO E OBSERVAÇÕES
Li	Amblygonita nos pegmatitos de Salinas e Itamarandiba (MG).
Berilo	Salinas, Virgem da Lapa, Coronel Murta, Capelinha, Araçuaí (MG).
Pirita	Vazante (MG).
Fluorita	Nos calcários do Grupo Bambuí.
Fosfato	Depósitos sedimentares no Grupo Bambuí.
Caolim	Buenópolis (MG). Derivado de filitos.
Calcários	Buenópolis, Bocaiuva, Montes Claros, Francisco Sá, São Romão, Vazante, João Pinheiro, Paracatu e Unaí e Minas Gerais.
Grafita	Itamarandiba. Barreiras (MG), no Grupo Macaúbas e filitos do Grupo Canastra.
Cianita	Itamarandiba, Minas Novas, Capelinha (MG) e seixos rolados no rio Jequitinhonha.
Barita	No Grupo Bambuí associado a depósito de Pb-Zn, ou em veios-camada cortando calcários.
Amianto	Salinas e Araçuaí (MG).
Abrasivo	Buenópolis (MG). em ardósias decompostas do Gr. Bambuí.
Mica	Capelinha (MG).
Cristal de rocha	Serra do Cabral, Serra Mineira, Serra da Itacambira, Buenópolis, Montes Claros em Minas Gerais, Cristalina em Goiás.
Diamante	Grão Mogol (MG), sul de Goiás, rio Pilões, rio Claro e Veríssimo.
Água Marinha	Minas Novas, Salinas e Itamarandiba (MG), Rio Jequitinhonha e Araçuaí.
Turmalinas	Araçuaí (MG) (rubelita-turmalina vermelha), Barra de Salinas (MG), Coronel Murta (MG), Itamarandiba (MG).
Citrino	Salinas (MG), Cristalina, Santa Luzia e serra dos Cristais, em Goiás.
Kunzita	Minas Novas, Araçuaí, Barra de Salinas em MG.
Andaluzita	Barra de Salinas (MG) e nas areias da bacia do Araçuaí, nos Municípios de Minas Novas e Araçuaí (MG).
Apatita	Salinas (MG)
Diopsídio (Cromífero)	Araçuaí e Salinas (MG)
Epidoto	Salinas (MG)
Heliodoro	Minas Novas (MG)

#### 4.4 - SENSORES E TÉCNICAS

##### 4.4.1 - LANDSAT

São apresentadas as características das diferentes unidades e estruturas, identificadas e interpretadas, a partir das imagens LANDSAT e constantes do mapa geológico e esboço tectônico anexos.

##### 4.4.1.1 - UNIDADES

###### UNIDADE Pe - (COMPLEXOS)

Esta unidade concentra-se em duas áreas distintas, apresentando, em cada uma, diferentes tons de cinza e texturas, os quais não permitiram, através deste sensor, caracterizar e correlacionar as várias litologias entre estas duas áreas.

No canal 5, na parte sudeste, regiões de Itamarandiba e Setubinha esta unidade é bem caracterizada pelos tons fotográficos (cinza escuro para as áreas de xisto e cinza claro para os gnaisses) e pela textura, que é grosseira para os gnaisses e média para os xistos.

A rede de drenagem desta unidade, embora mostre uma grande densidade, não apresentou condições de ser extraída devido a intensa ramificação de seus tributários. Portanto, não foi possível observar alguma característica marcante, expressa por ela, como fator de individualização da unidade.

No eixo Itacambira-Barroão e estendendo-se para o norte, esta unidade é individualizada, no canal 7, pelo forte contraste morfológico apresentado entre suas rochas e as da unidade Espinhaço. O limite entre estas unidades é marcado por um relevo bem escarpado, permitindo, assim, uma delimitação bem precisa.

As diferenças de tons de cinza no canal 5 e, de textura, no canal 7, constituem outros elementos para a separação das unidades sobrejacentes a elas, como é o caso das coberturas Terciárias-Quaternárias que

constituem manchas escuras e homogêneas espalhadas sobre esta unidade, que apresenta tons mais claros e textura mosqueada.

#### UNIDADE pee - (Grupo Espinhaço)

Devido à persistência do relevo das rochas que constituem esta unidade, principalmente os quartzitos, boas informações puderam ser obtidas nos quatro canais.

A morfologia de suas rochas permite uma delimitação bem precisa desta unidade, tanto na serra do Cabral, em contato com a Formação Jequitai, como na Serra do Espinhaço, em contato com as rochas do Grupo Bambuí (borda ocidental) e com as rochas do Grupo Macaúbas e Complexos (borda oriental).

Devido à escala de trabalho, não foi possível estabelecer ou diferenciar sub-unidades para este grupo, embora, através do tom fotográfico, no canal 5, separam-se nas áreas dos quartzitos, que apresentam tons de cinza escuros, áreas de filitos, cujas tonalidades são bem mais claras. As áreas de conglomerados foram, também, diferenciadas dos quartzitos e filitos, pelos tons de cinza médio e uniforme.

O tom fotográfico, foi um ótimo elemento de reconhecimento para observações dos contatos destas rochas, com as do Grupo Macaúbas e coberturas recentes, nas regiões de Olhos d'Água e a oeste de Bocaiuva.

Um outro critério para a individualização desta unidade, principalmente nos canais 6 e 7, foi a grande intensidade de feições estruturais, principalmente fraturas, que são peculiares da unidade e bem evidenciadas neste sensor.

A rede de drenagem, nesta unidade, é bem visualizada nos canais 6 e 7. Embora condicionada às estruturas e à litologia, não apresenta um padrão típico que possa caracterizar a unidade.

UNIDADES pem e Pej - (Grupo Macaúbas e Fm. Jequitaí)

As rochas da unidade Pem (Macaúbas) e a unidade pej (Jequitaí), aparecem nos canais 5 e 7 com tons mais claros que as rochas da unidade Espinhaço, e mais escuras que as da unidade Bambuí e Complexos. Podemos considerar o tom fotográfico como principal critério de identificação destas unidades e da demarcação do contato entre elas.

A unidade Macaúbas, por apresentar uma grande distribuição em área, mostra nas imagens, variações tonais e texturais bem acentuadas. Nas observações feitas verificou-se, principalmente no canal 5, que o tom fotográfico apresenta uma variação gradacional com o grau metamórfico de suas rochas. Assim, esta unidade na serra do Espinhaço, próximo à borda, mostra tons de cinza médios e, à medida que se distância para leste, estes tons tornam-se mais claros, acompanhando o aumento do grau metamórfico.

No canal 7 podemos verificar que a textura varia de fina e homogênea, para uma textura grosseira e não tão uniforme, devido à alteração da densidade de drenagem e do conjunto de estruturas (zonas cisalhadas e falhadas) que esta unidade apresenta.

Na região entre Itamarandiba e Queixada, a demarcação do contato com os Complexos apresenta uma grande dificuldade, pois as rochas de ambas as unidades possuem litologias semelhantes. Nas imagens foram utilizadas diferenças sutis entre tons fotográficos, a fim de estabelecer uma zona provável onde o contato possa ser traçado.

As rochas da Formação Jequitaí constituem uma unidade de fácil delimitação nas imagens, principalmente canal 5, pelo tom fotográfico, como já mencionado, e no canal 7 pela textura fina e homogênea contrastando com as rochas circunjacentes.

Esta unidade, pej, que se apresenta com uma faixa estreita e descontínua, mostra em certas partes do flanco da serra do Cabaçal uma morfologia escarpada que constitui um bom critério para sua delimitação com as rochas da unidade Bambuí.

UNIDADE pea - (Grupo Araxã)

Esta é a unidade de mais difícil identificação, para área de estudo, nos quatro canais, das imagens LANDSAT.

A textura predominantemente média, e tom de cinza claro, no canal 7 e canal 6, não são critérios definidores desta unidade, porém mesmo assim, os melhores.

A drenagem, onde predominam xistos em vales rasos, é de maneira geral dendrítica, com tributários curtos que, em muitas áreas, tornam-se difíceis de traçar (mostram praticamente uma textura de drenagem).

Os limites com a unidade peb (Grupo Bambuí) são devidos principalmente à drenagem mais complexa e à textura mais grosseira, da unidade pea, como por exemplo a região de Luziânia, analisando-se o canal 5. Nos canais 6 e 7 a unidade pea, mostra tons de cinza mais claros que a peb.

Os limites do Araxã (pea) com a unidade Canastra, nas regiões do rio Corumbá (por estrutura), e cercânias de Campo Alegre de Goiás (por textura), não são tão claros como o brusco contraste (de drenagem, tom e textura), da região de Santo Antônio do Rio Verde. Nesta última região, Santo Antônio do Rio Verde, a unidade Araxã, apresenta um tom de cinza escuro, drenagem menos proeminente e textura mais lisa, que a apresentada pela unidade Canastra.

UNIDADE pec - (Grupo Canastra)

A delimitação desta unidade, que possui uma das respostas mais altas nos canais 6 e 7 (vide IMAGE-100), é feita facilmente nestes canais.

Os seus limites com a unidade Bambuí, podem ser obtidos

com os canais 5, 6 e 7, sendo que o contato, por estrutura e morfologia, fica mais facilitado nos dois canais do infravermelho.

A drenagem dos filitos desta unidade, por ser mais densa (dendrítica - ver fotografias aéreas), permite estabelecer o contato com a unidade Araxã, por exemplo, o limite sul da unidade.

A separação de subunidades, através dos componentes litológicos, só é possível em termos de predominância. Por exemplo, o flanco mais oriental desta unidade, mostra resposta em tons bastantes claros no canal 7, indicando uma predominância de quartzitos. O flanco mais a ocidente apresenta, no canal 5, uma drenagem dendrítica e tons de cinza escuros, denotando a influência, na resposta, dos filitos da unidade.

Os limites desta unidade para o setor ocidental, com a unidade Araxã, situada a oeste, e com a unidade Bambuí, a norte, são muitas vezes só identificáveis nos canais 6 e 7 e, em outras partes, unicamente no canal 7. Na área em estudo, a interpretação desta unidade exige bastante cautela, levando-se sempre em consideração os critérios da metodologia adotada.

#### UNIDADE pnb - Grupo Bambuí

#### UNIDADE pnbpa (Fm. Paranoá)

Esta unidade é identificada somente nos arredores de Cristalina (GO), com quase igual facilidade nos quatro canais.

A textura é o elemento principal de identificação. É uma textura média a grosseira, mais denunciada no canal 7. Correspondem os limites desta textura, com grande coincidência nos diferentes canais, aos limites da formação Paranoá, nos mapas existentes.

Esta unidade fica situada nos domínios de drenagem radial centrífuga (vide Anexo A.1), da estrutura regional dômica, do alto de Cristalina. Os seus componentes litológicos, os quartzitos, não são



denunciados por nenhuma característica de drenagem, textura etc, mas são os principais responsáveis pela resposta da unidade, com tons de cinza claros a médios nos canais 4 e 5, e médios nos demais. No canal 4, esta unidade apresenta-se com uma forma ovalada e bem destacada.

#### UNIDADE pebp - (Formação Paraopeba)

A identificação e demarcação desta unidade se faz com os canais 5, 6 e 7 (principalmente 5 e 7).

Inicialmente, vamos dizer que a subdivisão desta unidade nas imagens LANDSAT, para esta região, não vai encontrar uma correspondência com a subdivisão estratigráfica existente.

Podemos identificar com o auxílio do canal 5, nas regiões do eixo Unaí-Vazante e nas regiões de Montes Claros e Buenópolis, os calcários desta unidade. Estes "calcários", para determinadas regiões, são identificados, no canal 5, devido à vegetação e solos apresentando um tom de cinza escuro e textura lisa que, para a região de Vazante à Paracatu, podem confundir-se com as coberturas lateríticas, que apresentam tons e texturas semelhantes. Os calcários da região de Montes Claros, são evidenciados por apresentarem escarpas, podendo na sua identificação utilizar-se os canais 6 e 7.

As dolinas servem somente como feições de identificação indireta, não sendo indicativas de áreas mapeáveis como "calcários", já que ocorrem, geralmente (vide fotografias aéreas), em áreas cobertas com depósitos terciários-quaternários como, exemplo, a planície de inundação do rio São Francisco e os depósitos aluvionares e, em parte eluvionares, da região drenada pelas bacias do rio Paracatu e Preto. Podem ser, dependendo do local, estas dolinas, construídas em função da rocha subjacente (calcários), ou do próprio material aluvio-eluvionar, muitas vezes, com grande conteúdo de material carbonático.

Áreas delimitadas, como Vazante, Montes Claros e Buenópolis, com diferentes formas de afloramento, correspondem à delimitação de

unidades (no canal 5 a área Vazante, e no canal 7 as demais), com predominância de material carbonático, não sendo os calcários exclusivos.

Nas regiões de Unaí, Paracatu, Vazante, Bonfinópolis é que foi possível identificar, nas imagens do LANDSAT, a maior variedade de componentes litológicos desta unidade. Próximo a Vazante, denunciado por uma drenagem dendrítica densa, muito característica, identificamos, principalmente no canal 5, áreas de ocorrências de filitos, que nas imagens, seguem com este padrão para sul. A oeste de Unaí delimitam-se com boa precisão, através da drenagem dendrítica fina e do tom de cinza escuro no canal 5, áreas com predominância de siltitos. Os quartzitos desta unidade podem ser identificados, especialmente, através dos canais 6 e 7, desde Vazante até Unaí. Na região de Bonfinópolis, com uma textura mosqueada, no canal 5, às vezes confundida com a textura da Fm. Três Marias, identificam-se ardósias. Esta textura, porém, não lhe é peculiar e somente aplicável nesta área.

Para as regiões mais a oeste, onde as coberturas lateríticas mostram sua exuberância, a identificação de tipos litológicos e subunidades torna-se mais difícil, se não inapta (vide fotografias aéreas). No setor a leste do rio São Francisco, os tons e as texturas, nos canais 5 e 7 são, de modo geral, contínuos em grandes áreas, com pequenas variações locais e sem um padrão de drenagem característico. Nesta área a monotonia das características de fotointerpretação, indica o predomínio de um mesmo tipo litológico (ardósias).

#### UNIDADE pebtm - (Formação Três Marias)

Apresenta uma textura mosqueada, elemento bastante indicativo, no canal 5, que não é porém, uma feição exclusiva sua. Nas regiões de Unaí e Bonfinópolis e sul de João Pinheiro, o uso somente da textura para a separação desta unidade, pode levar a confusões, já que a unidade adjacente (pebpb) apresenta muita semelhança neste aspecto. Por isso, aliado ao canal 5, utilizou-se o canal 7, principalmente para marcar os seus limites.

É sabido que as litologias desta unidade são na sua maioria, horizontais, e ocorrem em nível topográfico superior as das demais litologias, deste grupo. Isto faz com que os arcôseos e siltitos formem mesas ou chapadas, bordejadas por escarpas bem nítidas, e observáveis nos canais 6 e 7, como por exemplo na serra da Onça, próximo a Jequitai e na serra da Maravilha, próximo a Caatinga. O procedimento, para a individualização desta unidade, sempre constou de uma identificação preliminar no canal 5, e posterior delimitação no canal 7, auxiliadas com o canal 6. É bom salientar que os afloramentos desta unidade, sendo resultantes de relevo de rochas horizontais (relevo tabular), motivo de frequentes coberturas (lateritas, eluviões etc), devem ser observados com cautela, quando por elas recobertos para evitar confundir esta unidade com as unidades do cretáceo.

Interessante feição observa-se nas imagens LANDSAT desta unidade, num perfil de Unaí a Bonfinópolis. As litologias bastante dobradas da Fm. Paraopeba são observadas serem interrompidas pela cobertura, horizontal a sub horizontal, da Fm. Três Marias e, logo após, voltam aparecer no outro lado da Chapada do rio Preto, mostrando um dos mais interessantes exemplos, talvez, de discordância no Grupo Bambuí (vide anexo A.4).

Os limites do Grupo Bambuí com outras unidades estão, por sua parte, já salientados, com a descrição dessas outras.

#### UNIDADES K (Cretáceo)

A estas unidades correspondem as formações Urucuia e Areado (vide anexo A.1). São litologias de fácil identificação nos canais 5 (principalmente) e 7. Formam relevos tabulares, recobertos com solos e vegetação características, mantidas, em certos casos, as costas de uma crosta laterítica, dando uma textura lisa, nos canais 5 e 7, e um tom de cinza escuro, no canal 5.

Estas unidades mostram, até certo ponto, uma pobreza de drenagem que, quando existente, é denunciada por tributários, no canal 5

com um traçado grosseiro em virtude de mata galeria que os acompanha.

Na zona central da área interpretada, região das chapadas dos Gerais (imagem 178-24), ocorrem as duas unidades, Urucuia e Areado. A distinção destas, no canal 5, pode ser feita nesta região, da seguinte maneira: A unidade mais nova, Ku (Urucuia), apresenta uma menor densidade de drenagem, um tom de cinza mais escuro e a textura mais lisa, devido a possuir maior cobertura eluvionar (com solos vermelhos), que pode estar parcialmente laterizada, sendo seu relevo, tabular, controlado por este fator. A unidade Ka (Areado) possui um tom de cinza mais claro, uma drenagem mais abundante e textura menos lisa; devido à erosão já ter ultrapassado o nível de aplainamento, que a unidade Urucuia ainda testemunha. Ainda esta unidade Areado, distingue-se da unidade Três Marias, na qual os tributários da rede de drenagem possuem um traçado mais fino e mais definido.

A unidade Urucuia, na região de Montes Claros, apresenta as mesmas características da Chapadão dos Gerais. Distingue-se mais facilmente das rochas adjacentes por estar em contato direto com as unidades p/b (Grupo Bambuí), as quais possuem uma textura mais grosseira. Os limites da unidade Ku (Urucuia) apresentam-se com bordas escarpadas, que facilitam sua identificação (ver RADAR), principalmente no canal 7.

#### UNIDADES T (Coberturas Terciárias)

Nas imagens LANDSAT, o critério de identificação destas coberturas é a morfologia. Aparecem com formas alongadas, acompanham os divisores d'água, possuindo superfícies contínuas com grandes extensões. Seus limites, na sua maioria, são escarpados, facilitando sua observação em qualquer canal, porém, mais bem evidenciada nos canais do infravermelho. Esta unidade apresenta também tom fotográfico bem representativo para sua individualização e separação de solos (refletidos pela vegetação), que os recobrem.

A rede de drenagem nestas litologias, é bem evidenciada, mostrando ser superimposta e responsável pelo grau de dissecamento.

#### UNIDADES TQ e Q (Terciário e Quaternário e Aluviões)

Estas unidades, de fácil identificação, em quase todos os canais das imagens LANDSAT, apresentam, no canal 5, uma textura lisa, um tom de cinza escuro e com padrão de drenagem denunciado pela mata galeira, que ocorre em quase todos os tributários, dando-lhes um traçado grosso nas imagens. Tais características são realmente decisivas para a identificação desta unidade TQ.

Quando em planícies de inundação, estas unidades TQ, diferenciam-se dos depósitos aluvionares (Q), das calhas dos rios, principalmente por possuírem um tom de cinza mais claro, na região mapeada e no canal 5, e um entalhamento da drenagem mais característico e bem definido.

#### 4.4.1.2 - ESTRUTURAS

As estruturas observadas nas imagens LANDSAT, muitas vezes já estão citadas na descrição das próprias unidades geológicas e tectônicas, ou assinaladas nos respectivos mapas geológicos e tectônico. Apresentamos aqui, as principais características delas.

As estruturas de primeira ordem, traçadas a partir das imagens LANDSAT, correspondem às que os mapas existentes assinalam como falhas de empurrão ou inversas. Assim, podemos observar na serra do Espinhaço, uma série de longas e proeminentes estruturas, tidas como falhamentos inversos. Assinaladas, também como falhamentos de empurrão, as estruturas da borda da serra servem de limite entre o Grupo Macaúbas e o Grupo Bambuí.

Na região de Santo Antonio do Rio Verde, observa-se uma grande estrutura em forma de um "esse" aberto, acompanhada de lineamentos paralelos, marcados em todos os mapas existentes, como falhamento de em

purrrão, jogando o Grupo Araxã sobre a Fm. Ibiã. É bem possível que seja, realmente, uma falha de cavalgamento.

Para as regiões da chapada do rio Preto, e a leste de Bonfinópolis, ocorrem duas longas estruturas. A mais ocidental (falha do rio Preto) prolonga-se até João Pinheiro e, a mais oriental, ambas em parte com coberturas, estende-se até Canoeiros, possivelmente. A estrutura situada mais a oeste, falhamento seguido desde a serra de São Domingos, talvez seja uma das feições estruturais mais notáveis das imagens LANDSAT, pois esta longa estrutura, possivelmente corresponde ao limite da faixa de dobramentos Brasília, ou ao limite do craton do São Francisco (ALMEIDA, 1976 b).

As estruturas de segunda e terceira ordem, falhamentos, fraturas e lineamentos, são proeminentes, por exemplo, na região de Unaí e Paracatu, onde se observa um padrão de dobramento (geossinclinal folding) holomórfico estruturalmente típico. Estas estruturas refletem-se debaixo das coberturas lateríticas, graças à diminuição da espessura de laterização nas cristas existentes as quais, após a época das chuvas, ficam mais ressaltadas.

Estruturas de segunda e terceira ordem são, também, expressivas em toda a região central e setentrional da área, constituindo, em rochas do Grupo Bambuí, uma série de lineamentos com direções preferenciais NW. A sul de Juramento, São João da Lagoa e norte de Joaquim Felício, são observados grandes lineamentos, refletindo estruturas antigas dobradas e arrazadas, formando sinclinais e anticlinais com padrão idiomórfico.

Nas rochas do Grupo Espinhaço, principalmente a sul, e na serra do Cabral, observa-se também, tanto no canal 5 como 7, lineações nítidas de grande extensão, algumas tendo seguimento nas rochas do Grupo Bambuí (vide anexo A.1). As direções predominantes dos falhamentos nestas rochas são visíveis pela rede de drenagem, seguindo, aparentemente, as principais direções de toda a parte sul da serra, embora as di

rêções, das falhas paralelas aos principais eixos estruturais e às diagonais a este rumo, variem acentuadamente. Os quartzitos além destas feições (falhamentos) mostram vários sistemas de diaclasamento, predominando os com direções transversais, isto é E-W. Na serra do Cabral, os quartzitos apresentam um fraturamento intenso quase sempre com direções longitudinais e diagonais à serra.

Mais a leste da serra do Espinhaço, as estruturas tornam-se menos visíveis, devido ao intenso intemperismo e às extensas coberturas aluviais e terciárias. Situação semelhante ocorre na região mais ocidental, região do Estado de Goiás, onde as extensas coberturas lateríticas mascaram a maior parte das estruturas.

#### 4.4.1.3 - QUADRO INDICE DAS UNIDADES LANDSAT

A tabela IV.4 sumaria as observações, feitas com as imagens LANDSAT, das diversas unidades geológicas, em função dos elementos de reconhecimento mais significativos nas análises.

O número marca a característica peculiar da unidade, e o valor do número corresponde ao canal onde esta determinada característica é mais acentuada. O número sem parenteses indica uma prioridade sobre o outro. É bom salientar que também contribuem, como critério complementar, as demais características, mas não são tão definidoras como as assinaladas.

#### 4.4.2 - RADAR

Os anexos B1, B2, B3, constituem os resultados das interpretações de imagens de RADAR, que foram adicionados ao mapa geológico final.

Na análise das imagens deste sensor, a tonalidade e textura permitiram distinguir corpos d'água, sistema de drenagens, formas de relevo e individualizar a maioria das unidades geológicas.

TABELA IV.4 - QUADRO INDICE DAS UNIDADES LANDSAT

UNIDADE		LITOLOGIA	IMAGENS LANDSAT			
			TOM	TEXTURA	MORFOLOGIA	DRENAGEM
COMPLEXOS		XISTOS	5	(5)		
		GNAISSES	5	(5)		
Gr. ESPINHAÇO		QUARTZITOS	(5)		7	
		FILITOS	5	(7)		
		CONGLOMERADOS	5	(7)		
Gr. ARAXÁ			7	(5)		
Gr. CANASTRA		QUARTZITOS	7		(7)	
		FILITOS	(5)			5
Gr. MACAÛBAS			5	(7)		
Fm. JEQUITAI			5		(7)	
Gr. BAMBUÍ	Fm TRES MARIAS			5	(7)	
	Fm. PARAPEBA	CALCÁRIOS (MONTES CLAROS)	(5)		7	
		CALCÁRIOS	5	(5)		
		ARDÓSIAS	(5)	(7)		
		SILTITOS/FOLHELHOS	(5)		(7)	
		FILITOS	(5)			5
		QUARTZITOS	7		(7)	
COBERTURAS TERCIÁRIAS			5	(5)		
COBERTURAS TERC:QUATERNARIAS			5	(5)		
ALUVIÕES			7			(7) (5)
Fm. URUCUIA			5		(7)	
Fm: AREADO			5		(7)	



O sistema de drenagem, extraído das imagens, permitiu observar o condicionamento de seus cursos e, nas serras do Cabral e Espinhaço, estabelecer limites entre zonas com relevo acidentado. Nas regiões com maior grau metamórfico e com relevo acidentado. Nas regiões com maior grau metamórfico e com morfologia suave, embora a densidade de drenagem fosse maior, o seu traçado foi difícil, ao contrário de áreas menos metamórficas e com relevo acidentado.

As unidades geológicas, delimitadas neste sensor, foram observadas quase que exclusivamente pela textura e, as diferenças de tom e textura em terrenos com pequena variação de altitude e declividade, permitiram evidenciar tipos litológicos diferentes.

As unidades geológicas com destaque topográfico (escarpas ou com cristas alinhadas) foram facilmente mapeadas, devido ao sombreado que o RADAR fornece. Esta característica de sombreado faz com que a morfologia do terreno seja realçada dando, assim, contrastes entre as unidades.

Na região do complexo, a sudeste, a individualização de subunidades e delimitação com outras unidades foram difíceis, fazendo com que muitos contatos fossem inferidos.

Quanto ao aspecto estrutural, o RADAR mostrou ser excelente, destacando com grande nitidez feições lineares, lineamentos fraturas e falhas, principalmente nas unidades da serra do Espinhaço e do Cabral. Nas regiões sedimentares (áreas calcárias do Grupo Bambuí) e junto às coberturas cretácicas e recentes, tais estruturas eram nítidas, refletindo possíveis fraturamentos ou falhamentos das rochas subjacentes.

A disponibilidade de mosaicos fotográficos de RADAR, na escala 1:250.000, muito influenciou na obtenção de bons resultados de fotointerpretação, os quais permitiram obter melhor precisão dos contatos entre unidades e realçaram mais as estruturas.

#### 4.4.3 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

Observaram-se principalmente nas fotografias aéreas branco e preto, as características e as relações de contato das unidades Araxã, Canastra e Bambuí.

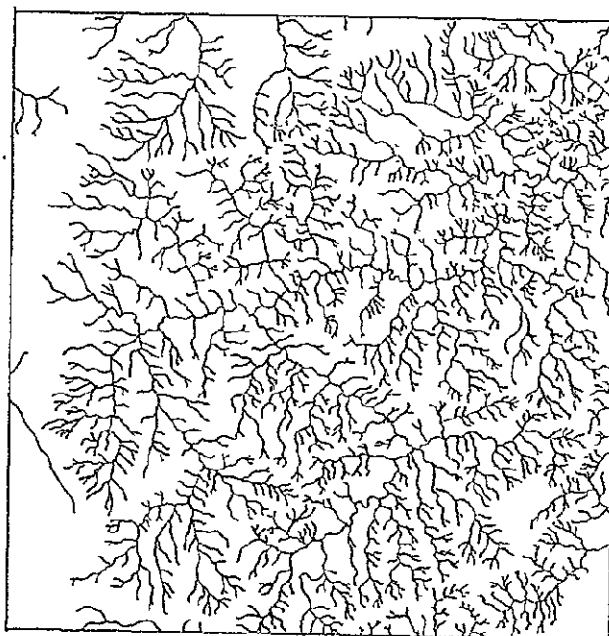
A unidade Araxã, representada na área teste pela Fm. Ibiã, apresenta nas fotografias aéreas, a textura mais escura e o tom de cinza mais escuro das três unidades. A sua drenagem (Fig. IV.3) é mais esparsa, com tributários longos em relação às outras unidades, diferentemente através do padrão de drenagem, já é possível separar esta unidade na área teste. No mapa apresentado (anexo C.1), esta unidade situa-se na porção sudoeste, com contatos com a unidade Canastra não deixando a desejar.

A unidade Canastra, nestas fotografias, pode ser dividida em duas unidades: A- mais a oeste, constituída com predominância de filitos, e B- mais a leste com predomínio de quartzitos.

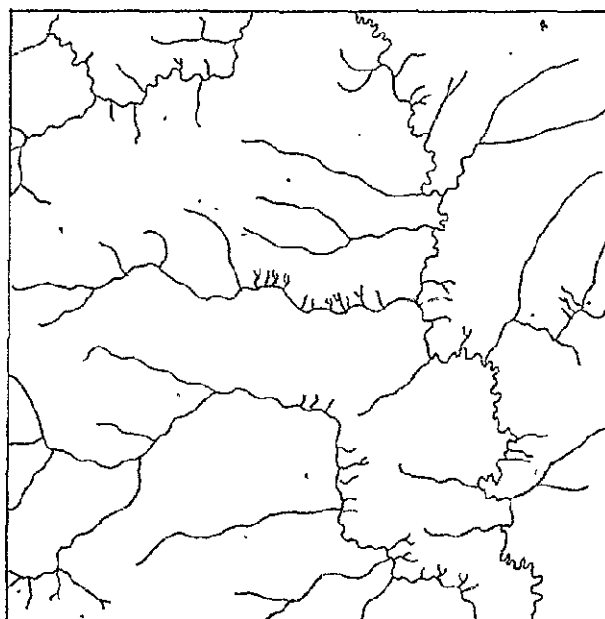
A unidade A, apresenta a drenagem mais característica de todas. É padrão dendrítico denso (ver Fig. IV.3), com tributários principais encaixados em vales em "V", estreitos e, os secundários, retalhando as vertentes dos vales. A textura é ligeiramente áspera, e o tom de cinza é médio. O simples traçado da drenagem desta unidade, já indica as áreas de ocorrência de filitos.

A unidade B, composta de quartzitos, apresenta uma drenagem mais pobre. Os tributários, apresentam-se acompanhados de uma mata galeria menos desenvolvida, mais alinhada, condicionada pelas estruturas (fálhas, fraturas, cristas) mostrando, às vezes, um padrão em baioneta.

Esta unidade Canastra apresenta, nesta área teste, estruturas predominantemente NE, o que é um padrão local, já que o padrão regional, mostrado pelas imagens, é preferencialmente NNW.



A



B

Fig. IV.3 - A- Filitos. B- Xistos

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY.

Identificaram-se dentro da unidade Canastra, que na maior parte de sua área de ocorrência é recoberta por crosta laterítica, várias áreas de quartzitos não mapeadas anteriormente, que jazem debaixo das crostas e afloram nos vales. Para o estudo, como se viu na metodologia, utilizou-se uma identificação ao longo dos vales, ravinas e escarpas, através da visão estereoscópica.

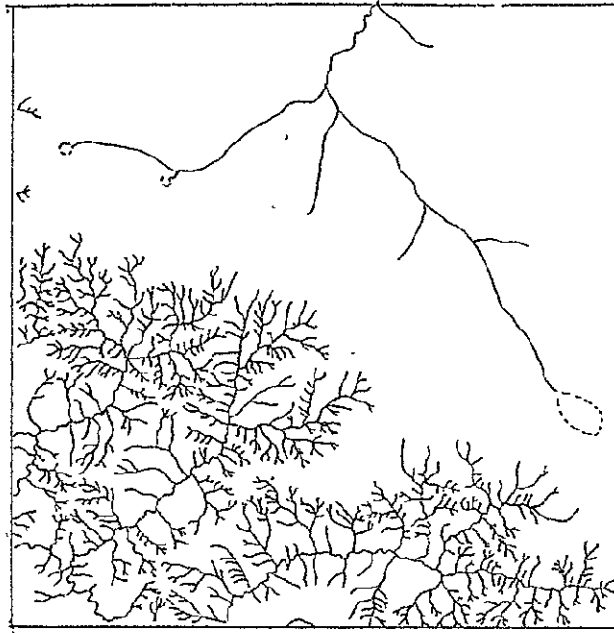
Em certos segmentos o contato da unidade, acima citada, com a unidade Bambuí, mostra-se nestas fotografias, sem utilizar-se a visão estereoscópica, difícil ou imperceptível, naqueles trechos em que a escarpa (20 a 30m), existente no limite entre as duas unidades, era vertical. No plano da fotografias aérea, devido ao mesmo tipo de cobertura de solo e vegetação as unidades coalescem.

Este contato entre as duas unidades, em toda a sua extensão por escarpa, foi bem delimitado nas fotografias e pôde, posteriormente ser acompanhado nas imagens LANDSAT. A unidade Bambuí mostrou uma textura lisa, com drenagem mais desenvolvida depois da unidade Canastra, e tom de cinza médio. O contato desta unidade só se faz com a Canastra e é facilmente traçado. As litologias que podem ser consideradas como calcários, não mostram afloramentos, apresentando dolinas e solos escuros, nos quais se observa uma maior atividade de uso da terra.

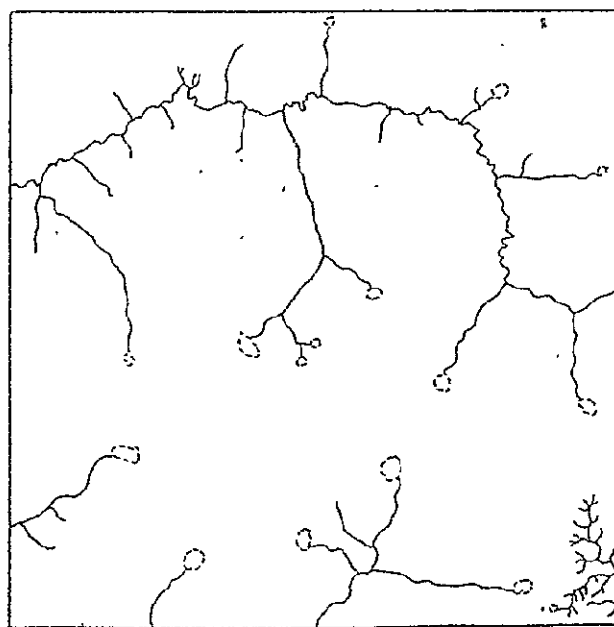
As coberturas lateríticas salientam uma textura levemente áspera e tom de cinza médio a escuro. Os rios apresentam-se largos, graças a mata galeria, e evoluem a partir de cabeceiras com uma vegetação de galeria, disposta de modo ovalado. (ver Fig. IV.4).

As fotografias aéreas infravermelhas (escala 1:21.000) abrangem as regiões de Morro Agudo e Paracatu, onde existem ocorrências de "calcários", alguns mineralizados a chumbo e zinco.

Os calcários a norte de Paracatu mostram-se recobertos por matas exuberantes, apresentando afloramentos volumosos, o que muito auxiliou na sua identificação. São lentes possantes que, posteriormente observadas nas imagens LANDSAT, conhecidas suas características, mostra



A



B

Fig. IV.4 - A- Filitos e Lateritas. B- Laterita

ram um direcionamento NNW coincidente com a direção regional. São as maiores lentes de calcários aflorantes nesta região.

As ocorrências de rochas carbonáticas nesta zona, que vai de Unaí a Vazante mostram dois aspectos distintos. De um modo geral as áreas de ocorrências, situadas a norte de Paracatu, são mais facilmente mapeáveis, devido a apresentarem afloramentos mais expressivos, com matas, e com atividades agropastoris menores. Já para a região a sul de Paracatu, os afloramentos são menores, mais escassos, e as atividades de uso da terra (desmatamentos, queimadas) dificultam a interpretação nestes locais, anteriormente com matas densas.

Nas transparências infravermelhas positivas foram identificadas áreas de ocorrência de calcário que, posteriormente demarcadas nas imagens LANDSAT, serviram de padrão de interpretação para estas litologias.

#### 4.4.4 - IMAGE-100

A análise de imagens LANDSAT no IMAGE-100, em setores da área estudada, permitiu conhecer a utilidade deste sistema, como auxiliar, durante os trabalhos desta finalidade.

Uma das primeiras considerações a levar em conta, é que o trabalho, realizado no analisador, foi feito após completada toda a análise visual e interpretação das unidades e estruturas nas imagens LANDSAT, i.é após um conhecimento regional e local da área a ser estudada (áreas testes), bastante grande e com proposições já definidas.

Assim, por exemplo, nas análises visuais de composições coloridas, variadas, na tela da televisão, como a área da serra do Cabral, tinha-se a interpretação prévia das imagens LANDSAT em preto e branco. A análise da imagem, em composição a cores, ressaltou muito mais resultados que o processo inverso. (A análise de uma composição colorida gera muito mais resultados se esgotada previamente a análise de sua

correspondente em preto e branco, do que se iniciar a análise em composição e depois passar-se para o preto e branco - ver também LAMAR, 1974).

Os filitos e quartzitos, da serra do Espinhaço, e os quartzitos da serra do Cabral, nas composições coloridas, a partir de transparências, puderam ser delimitados com maior facilidade do que nas cópias em preto e branco. Por exemplo no canal 4 azul, canal 5 - verde (complementar) e canal 7 - vermelho, estes quartzitos e filitos são bem diferenciáveis pela sua cor azul cinzenta, das litologias do Macaúbas, que aparecem com cores azuladas escuras e das do Grupo Bambuí, com cores amareladas. Também, neste tipo de composição, as coberturas terciárias - quaternárias e as cretácicas são facilmente identificadas pelas cores marrons e azuladas, respectivamente.

Nos programas de "slicer", as combinações em 8 níveis, muitas vezes dividiam a imagem em maior número de unidades que as existentes. Isto significava que unidades ficavam subdivididas em duas ou mais subunidades. Em alguns casos, mereceram consideração. Por exemplo, em algumas áreas do Grupo Canastra ficavam separadas nesta unidade as subunidades correspondentes aos filitos e quartzitos, o mesmo ocorrendo no Grupo Espinhaço, na serra do mesmo nome.

No estudo das assinaturas e classificações, pôde-se observar que poucas são as que possuíram expressão global, fato talvez comum a quase todas as unidades geológicas. Este problema pode dificultar já que as unidades, em grande parte, são só classificáveis localmente, ou nem mesmo assim. Isto é devido, principalmente, às variações, além de litológica, de vegetação, solo e drenagem,

Das unidades estudadas, Grupo Bambuí, Grupo Canastra, Terciário, Quaternário, Grupo Araxá, pro parte Ibiá, Formação Três Marias, Formação Areado, em função de suas assinaturas, pode-se chegar às seguintes considerações:

O Grupo Bambuí - é uma unidade, como visto na descrição da mesma, com uma variação litológica bastante grande. A classificação de suas unidades no analisador é, antes de tudo, um problema de caráter geológico - geomorfológico. Estudaram-se, dentro desta unidade alguns de seus componentes.

Os calcários deste grupo, como visto na discussão das fotografias aéreas infravermelho, são classificáveis somente em certas porções da imagem com resultados significantes, refletindo o caráter bem local da expressão de sua assinatura na imagem. Sua identificação no IMAGE-100 não é de muito emprego para grandes áreas, além de suas classificações sofrerem superposição das coberturas Terciárias-Quaternárias.

Os quartzitos, ao contrário, mostram-se discrimináveis, apresentando assinaturas mais expressivas geograficamente. Os filitos, com resultados espetaculares em determinadas áreas, situam-se como um caso intermediário entre estas duas litologias citadas.

O Grupo Canastra - foi uma das unidades que mais se prestou para este estudo. Mostrou, em seus componentes litológicos, assinaturas de grande expressão na área (global).

A expressão do Grupo Canastra deve-se ao volume de rochas quartzíticas sobre o que cabe uma consideração. Estas rochas, devido a sua exposição, no sentido de jazimento, garantem resultados de classificações de grandes fundamentos para esta unidade. A partir do conhecimento prévio do modo e local de afloramento (quer através das fotografias aéreas, quer através dos trabalhos de campo) e da expressão da assinatura (global) do seus quartzitos, foi conseguido com os resultados das classificações, concluir que a quantidade de quartzitos desta unidade é maior que a originalmente se pensava (interpretação visual). Isto deve-se ao fato que, se conhecida a área de treinamento em quase todo o seu detalhe, e conhecida a qualidade de continuidade da assinatura da amostra, os resultados das classificações desta unidade serão indicativos da continuidade deste tipo litológico.

Certas áreas de treinamento, nesta unidade Canastra, nos histogramas construídos, mostraram em alguns canais duas modas. Com



a observação dos resultados dos cortes nos histogramas, podemos verificar que as estas duas modas, correspondem as respostas dos filitos e quartzitos. Podemos desta maneira, conhecido os limites das respostas (via slicer ou histogramas), destas litologias, individualiza-las, obtendo-se assim um modo de separar os quartzitos dos filitos, para estas áreas.

Outro fato que deve-se levar em consideração, para esta região, é o aumento da variância em zonas de quartzitos (respostas altas), no canal 7, principalmente, devido ao englobamento na área de treinamento da drenagem e queimadas, causando imperfeições nas classificações, o que pode ser corrigido com cortes nos histogramas. Estes cortes, foram estabelecidos a partir de tentativas, e estudo da listagem de pixels das áreas de treinamento.

O Terciário-Quaternário - constitui uma unidade chave para a interpretação automática. Esta unidade, constituída de cobertura laterítica, foi a que possuiu maior expressão de assinatura (global) de todas as analisadas.

Baseado nisto, efetuou-se a classificação para saber as áreas abrangidas por esta cobertura e utilizando os resultados para corrigir a distribuição nas interpretações visuais das imagens LANDSAT, das unidades em seu contato.

As coberturas lateríticas, como as demais unidades, exigiram muitas vezes cortes nos limites de assinatura, ou redução por limiar em classificações por multicélula. A finalidade do refinamento foi para evitar-se "overlaps" com outras unidades. (ver Fig. IV.5).

O Grupo Araxá, em parte a chamada Formação Ibiã, não apresentam nem mesmo assinatura com expressão local, salvo casos restritos. A sua classificação através do Image-100, para a finalidade proposta, não é desejável. Isto é devido a sua expressão geológica e geomorfológica.

A Formação Três Marias - traz em algumas áreas, devido a sua expressão topográfica e as unidades adjacentes, mais que as suas próprias características peculiares, resultados de classificação razoáveis.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

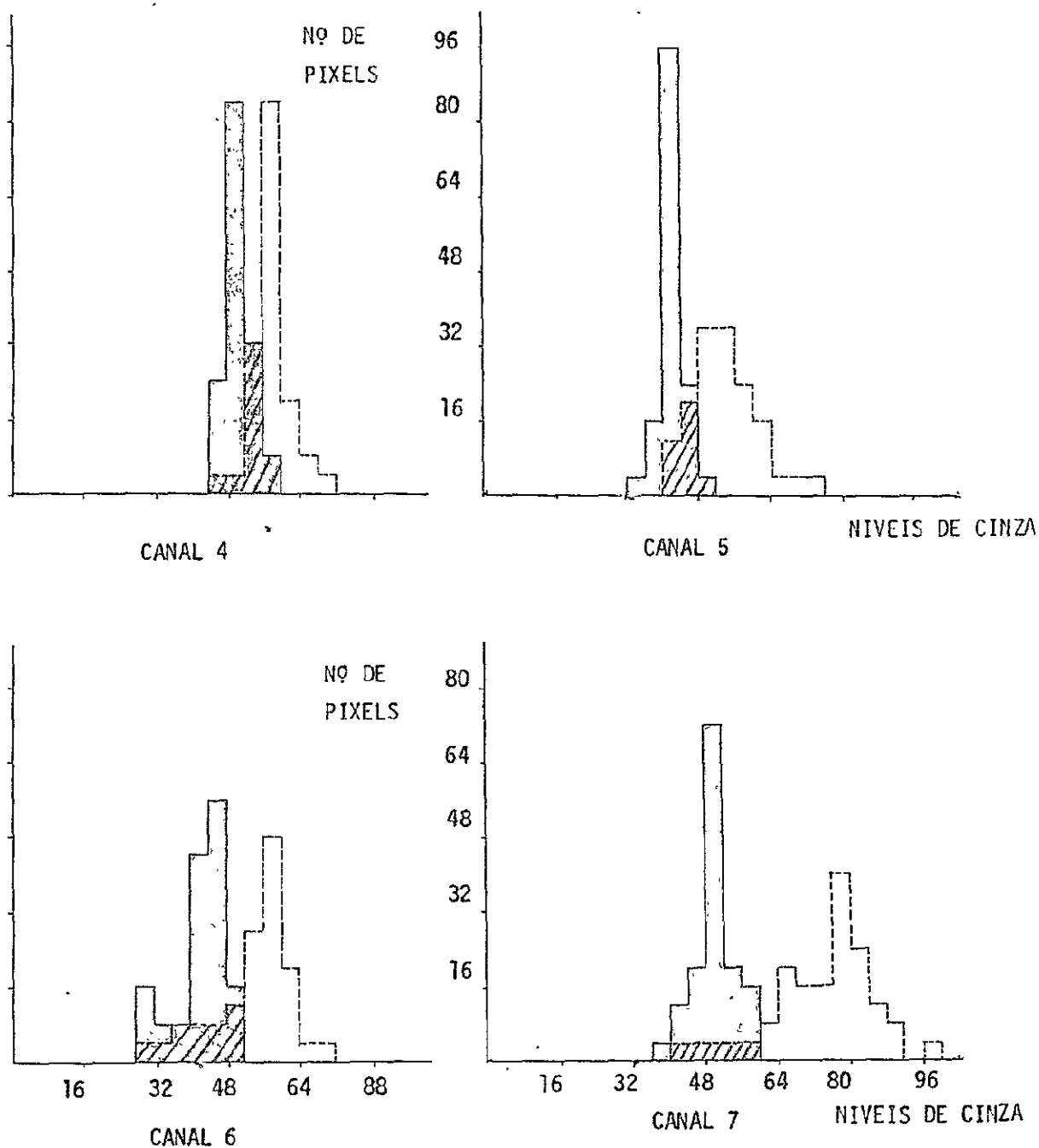


Fig. IV.5 - Histogramas das respostas nos quatro canais do LANDSAT (no mesmo sistema de coordenadas), de duas unidades. (A amostra QT 11 nã continua e escura, a amostra pec, linha tracejada e clara). A área tracejada corresponde a superposição das duas assinaturas, podendo ser eliminada com corte nos histogramas.

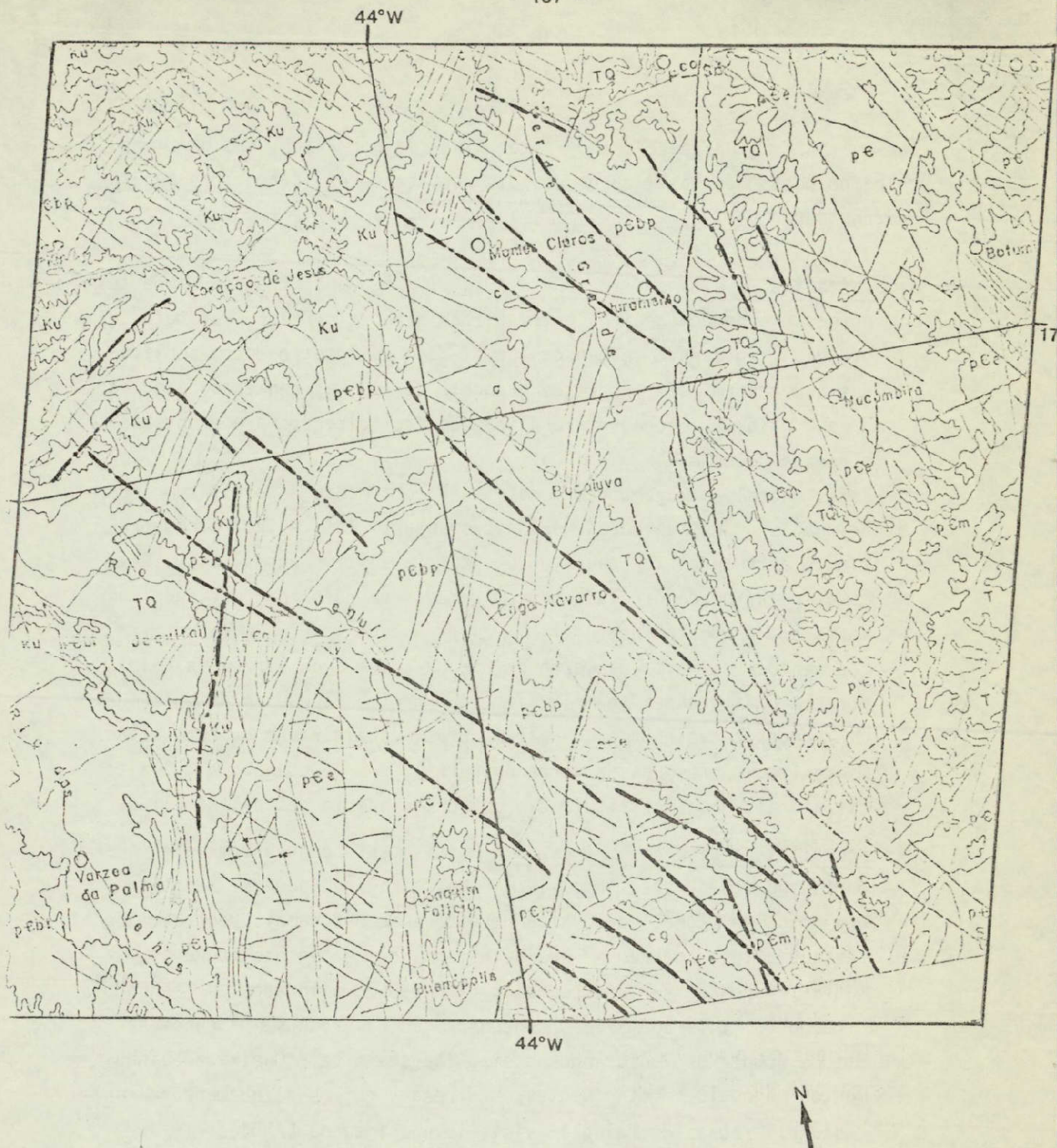
As Formações Areado e Urucua - como a maioria das coberturas cretácicas, dão resultados com significado geológico, em função da cobertura e da vegetação.

O Grupo Espinhaço - foi uma unidade de fácil classificação automática, pois apresenta um conjunto litológico bem característico (principalmente quartzitos) e com uma distribuição típica na área. Através da classificação multicélula dos canais 4 e 6, esta unidade é bem diferenciada das demais unidades, mostrando limites nítidos nos contatos entre elas.

Com resultado paralelo, foram observadas, quando das classificações, sizer e composições coloridas, uma série de estruturas de grandes extensões, cortando rochas do Grupo Espinhaço e estendendo-se para as do Grupo Bambuí (ver Fig. IV.6). Na serra dos Pilões, e na região de Brasília, também se observaram novas estruturas. A identificação destas novas estruturas, por si só, já justifica o emprego do IMAGE-100 na análise das imagens LANDSAT.

#### 4.4.5 - MAPAS MAGNETOMÉTRICOS

Nas análises dos mapas magnetométricos da área, pode-se observar diversos tipos de anomalias as quais, para facilidade de estudo, foram interpretadas quanto ao seu tamanho (anomalias de extensão regional e anomalias de pequenas extensões) ou quanto à sua forma e características de campo magnético criado (anomalias isoladas que predominam aos pares, anomalias alongadas e alinhadas e anomalias fracas-irregulares).



----- Estruturas observadas no Image-100

Fig. IV.6 - Detalhe de estruturas observadas em composições coloridas no I-100 com a utilização de transpa - rências positivas - 70mm.



Correlacionando estes tipos de anomalias, com o mapa geológico obtido com as imagens dos diversos sensores, cabem as seguintes considerações:

Anomalias de extensão regional- (Fig. IV.7). Concentram-se na parte nordeste mapeada (regiões entre as bacias do rio Preto, Paracatu e Urucuia). Apresentam extensões de até cem quilômetros, com amplitudes que chegam a ter ordem de grandeza de algumas centenas de gamas. Na sua maioria, encontram-se alinhadas, com direções preferenciais nordeste-sudeste.

Estas anomalias magnéticas mostram, aparentemente, não estarem relacionadas as unidades geológicas superficiais e tão pouco problemas estruturais. A causa da existência de tais anomalias, deve estar relacionada diretamente com camadas de maior profundidade ou mesmo com o embasamento.

Nas regiões ao norte da serra da Onça e a leste de Varzea da Palma, ocorrem duas grandes anomalias do tipo regional, que caracterizam uma magnetização anormal de algum corpo, ou alteração do cristalino magnético. A presença da serra do Cabral, representando um alto estrutural, pode constituir aí, um forte indicio destas anomalias.

Anomalias de pequenas extensões - Praticamente concentram-se na parte sudeste da área (Fig. IV.8). Nesta região, pode-se identificar um campo magnético totalmente diferente das demais regiões. Estas anomalias, ocorrem em grande número, com extensões pequenas a médias, formando verdadeiros elos alongados e alinhados segundo direção NE. Tais anomalias, concentram-se nas rochas aqui denominadas de Complexos, mostrando, no eixo Itamarandiba - Queixada alinhamentos magnéticos coincidentes, em direção, com os alinhamentos estruturais (zonas de falhas) visíveis nas imagens LANDSAT.

Acreditamos que estas anomalias, estão relacionadas praticamente com os Complexos, e que os alinhamentos NE são ótimos fatores indicativos de fenômenos de intrusão nestas zonas de falhas.

Estas anomalias também estão praticamente delimitando unidades geológicas diferentes, constituindo-se portanto, um bom critério para demarcar o contato entre elas (Grupo Macaúbas e Complexos) pois, nas



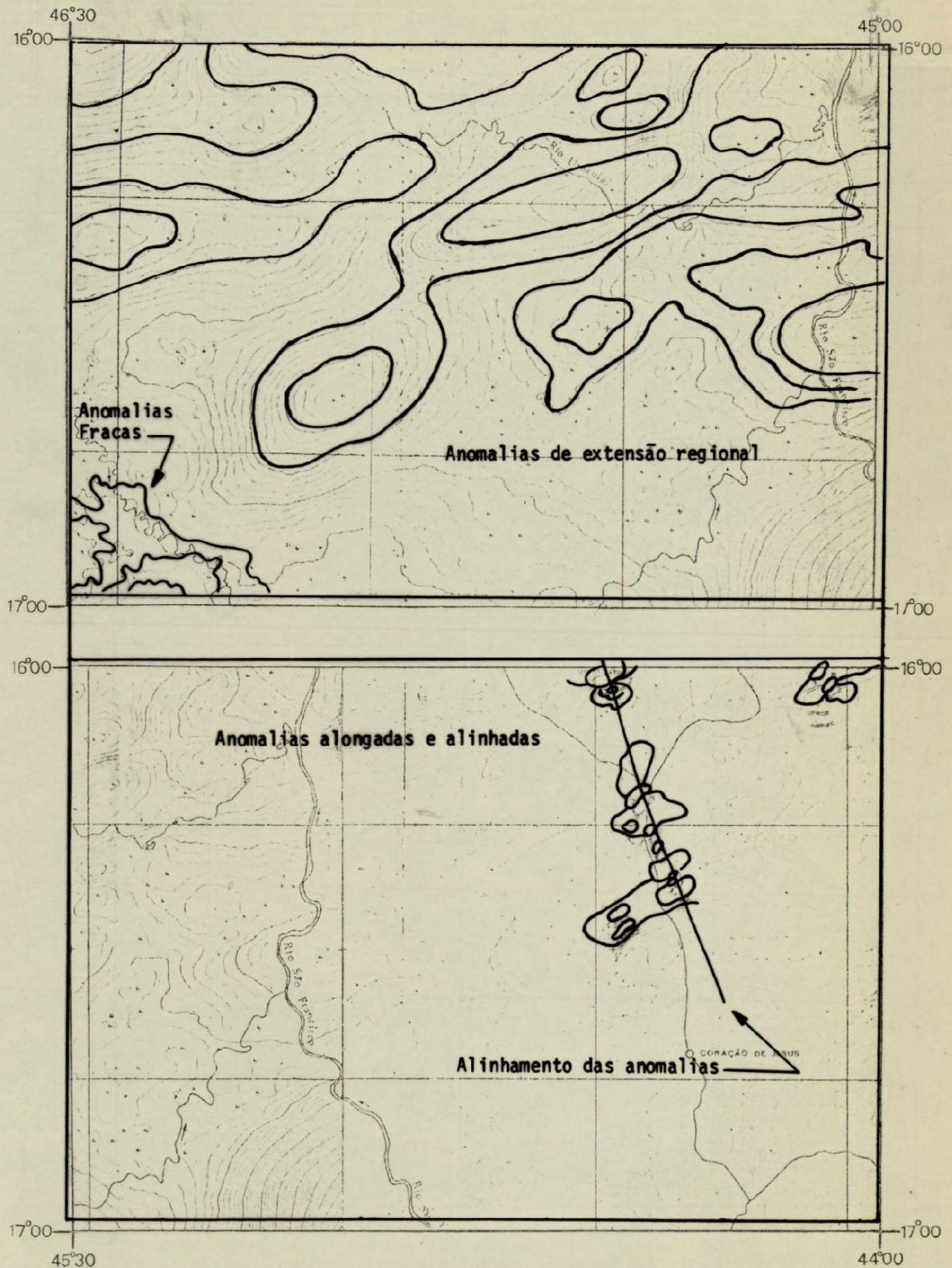


Fig. IV.7- Anomalias magnéticas regionais.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY



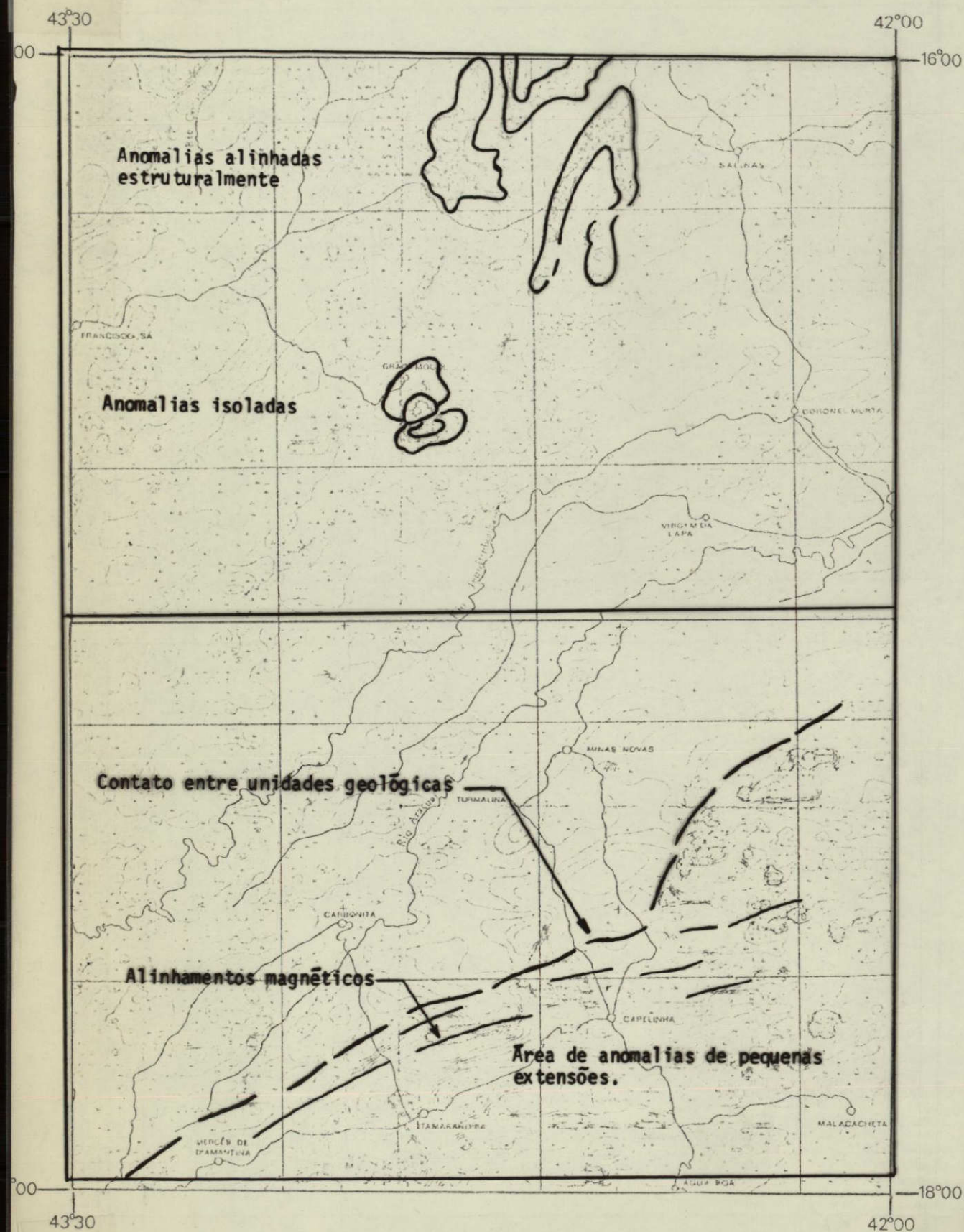


Fig. IV:8 - Anomalias magnéticas isoladas e alinhadas.

imagens de RADAR e do LANDSAT, isto tornou-se difícil.

Anomalias fracas-irregulares - (Fig. IV.7). São as encontradas a sudoeste da área, concentrando-se nas regiões do Grupo Bambuí, com coberturas cretácicas e quaternárias. São bem caracterizadas pelo encrespamento das curvas de isoanomalias. Estes encrespamentos ; são representativos de influência magnéticas próximas à superfície, indicando diferenças mínimas de magnetização das camadas aflorantes com as subjacentes.

Anomalias isoladas - (Fig. VI.8). Predominam aos pares (máximo e mínimo) e são raras, ocorrendo apenas próximo a João Pinheiro, Brasília de Minas e a sul de Grão Mogol. Segundo dados bibliográficos de magnetometria, estas anomalias indicam corpos tipo chaminé, constituindo intrusões básicas locais ou complexos alcalinos rochosos. Estas anomalias não estão relacionadas com nenhum padrão. Acreditamos que somente pesquisas geológicas e geofísicas, de campo, possam vir elucidá-las.

Anomalias alongadas e alinhadas - (Fig. IV.8). Estas anomalias ocorrem aos pares (máximo e mínimo), ou simplesmente apresentando valores negativos ou positivos. O que as caracteriza é a sua linearidade, chegando a atingir dezenas de quilômetros, como pode ser observado nas anomalias das regiões de Brasília de Minas e Patiss.

Estas anomalias, provavelmente, constituem diques básicos intrusivos em zonas de falha, não refletindo porém, em nada na superfície que os possa identificar.

Nas regiões da serra da Tapera, médio rio Vacarias e Peixe Bravo (Fig. IV.8), sobressai, de maneira especial, este tipo de anomalia alinhada, acompanhando as estruturas geológicas existentes. Nestas localidades elas constituem uma enorme densidade de pequenas anomalias, em formas semi-circulares, que se configuram de forma a retratarem um contorno estrutural, reproduzindo as estruturas aflorantes dos anticlinais e sinclinais existentes.



Acreditamos que estas anomalias foram causadas pelos itabiritos, porém, estudos mais detalhados. devem ser feitos para estabelecer qual a relação destes depósitos com as estruturas aí existentes. Deven ser observado com mais detalhe também, os horizontes de itabirito desta região, pois, estes devem estender-se para norte (conforme observações magnetométricas) constituindo, talvez, áreas favoráveis de ocorrência deles.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES

A elaboração de mapas geológicos regionais, através das imagens LANDSAT, constitui excelente base para planejamento de avaliação e pesquisa de recursos minerais.

Com os critérios empregados na interpretação visual e automática das imagens LANDSAT, foi possível constatar a eficiência das técnicas de Sensoriamento Remoto para a análise geológico-estrutural de áreas extensas, que já apresentavam trabalhos geológicos, porém, sem uma integração regional dos dados.

O emprego de imagens LANDSAT, na escala 1:1.000.000, permitiu individualizar todas as unidades geológicas mapeadas e, através de mosaicos destas imagens, foi possível a integração simultânea de todos os dados.

Entre os vários fatores vantajosos, do emprego das imagens, está o fato de se poder obter mapas de grandes áreas, em escala apropriada e na mesma de execução do trabalho.

A utilização de fitas CCT no IMAGE-100, durante os trabalhos de execução de mapeamento, permitiu descer-se a níveis mais detalhados de informação, quando necessário, e trazê-los à escala de trabalho. Além disso, pôde-se qualificar, quantificar e até mesmo modificar dados originais.

As unidades e estruturas extraídas das imagens, permitiram a elaboração de um esboço tectônico, a partir do qual se pôde estabelecer modelos de evolução da crosta terrestre e os seus domínios metalogenéticos.

O uso de outros sensores permitiu uma combinação de in formações, e, assim, melhor analisar os resultados obtidos com as ima gens LANDSAT. As imagens de RADAR e as fotografias aéreas muito contri buíram para identificação dos contatos das unidades geológicas e o maior detalhamento estrutural da área.

Os mapas magnetométricos possibilitaram observações das anomalias magnéticas da área e suas relações com as características su perficiais do terreno. Mostram que as anomalias, muitas vezes, refle tiam manifestações ou perturbações magnéticas associadas a processos magmáticos e estruturais que, em comparação com as imagens LANDSAT, re fletiram nitidamente, na superfície, diferenças de magnetização e coi ncidência com feições estruturais bem marcantes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenadoria do Departamento de Sensoria-  
mento Remoto, e as pessoas abaixo,

Dr. Gilberto Amaral  
Aparecida Alves Cardoso  
Aparecida dos Santos  
Regina Celia Pisanelli

o apoio recebido.

## BIBLIOGRAFIA

- AB'SABER, A.N. *O relevo Brasileiro e seus problemas: Brasil, a Terra e o Homem*. São Paulo, Nacional, 1968. v.1.
- \_\_\_\_\_. Problemas do mapeamento geomorfológico do Brasil. *Geomorfologia*, 6:1-15, 1969.
- ALMEIDA, F.F.M. Traços Gerais da Geomorfologia do Centro-Oeste Brasileiro. In: *Congresso Internacional de Geografia*, 18, Rio de Janeiro, 1958. p. 7-65 (Guia de Excursões).
- \_\_\_\_\_. *Origem e Evolução da Plataforma Brasileira*. Porto Alegre, II<sup>a</sup> SEDEGEO/CAEG, 1966.
- \_\_\_\_\_. Evolução Tectônica do Centro Oeste Brasileiro no Proterozóico Superior. In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Rio de Janeiro, 1968. v. 40 (supl.), p. 285-295.
- \_\_\_\_\_. Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 23, Salvador, 1969. Anais. p. 29-46.
- \_\_\_\_\_. O craton do São Francisco e suas faixas marginais de dobramentos. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 29. Belo Horizonte, 1976a, p. 214. (Resumo dos Trabalhos).
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. The Upper Precambrian of South America, *Boletim do Instituto de Geociências*, 7:45-80, 1976b.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. Geocronologia do Centro Oeste Brasileiro. *Boletim da Soc. Brasileira de Geologia* 19(1):5-16, 1970.
- ALMEIDA; J.A.P.; VELOSO, J.A.V. Nota sobre a fotointerpretação geológica em áreas aplainadas em fase de dissecação no Distrito Federal. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 24. Brasília, 1970. p.67-68. (Resumo das Conferências e Comunicações - Boletim Especial nº 1).

146, 147, 148

- 149 -

- AMARAL, G. *Condicionamento Geológico de Depósitos de Pb - Zn encaixados no Grupo Bambuí, em Minas Gerais*. 1974. Relatório Inédito.
- AMARAL, G.; MATTOS, J.T.; ALMEIDA FILHO, R.; PEREIRA DA CUNHA, R.; PARADELLA, W.R. *Relatório de Trabalho de Campo*. São José dos Campos, INPE, 1975. (INPE-722-RVi/002).
- \_\_\_\_\_. *Relatório de Trabalho Preliminar de Campo*. São José dos Campos, INPE, 1975. (INPE-838-RVi/004).
- \_\_\_\_\_. *Relatório de Trabalho de Campo III*. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-COM.4/RVi).
- \_\_\_\_\_. Carta Geológica ao Milionésimo da Folha Belo Horizonte com base na Interpretação de Imagens LANDSAT. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 29, Belo Horizonte, 1976. p. 216. (Resumo dos Trabalhos).
- ANUTA, P.E.; MAC DONALD, R.B. Crop Surveys from Multiband Satellite Photography Using Digital Techniques *Remote Sensing Environment*, 2(1): 53-67, 1971.
- AUBOIN, J. *Geosynclines*. New York Elsevier, 1965.
- BARBOSA, O. *Resumo da Geologia do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Serv. Geog. Repart. Serv. Geográfico e Geológico. 1937. (SGG Boletim nº 3).
- \_\_\_\_\_. Evolution du geossinclinal Espinhaço. In: *Cong. Geol. Int.* 19, Argel, 1954. Sect. 13, fac. 14, p-17-36.
- \_\_\_\_\_. Guia das Excursões. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 9, Araxá, 1955. p. 3-5. (Noticiário 3).
- BARBOSA, A.L.M.; GROSSI SAD, J.H.; TORRES, N.; VAZ DE MELO, M.T. Geologia da Região do Médio Rio Doce. *Sociedade Brasileira de Geologia*, 2, 1966.
- BARBOSA, O.; BRAUN, O.P.G.; DYER, R.C.; RODRIGUES DA CUNHA, C.A.B. *Geologia da Região do Triângulo Mineiro*. Rio de Janeiro DNPM, DFPM, 1970. (DNPM/DFPM. Boletim 136).
- BEHM, H.J. *The use of Side-Looking Radar in Geology Analysis*. New York, Grumman Aerospace Corporation Bethpage, 1969.

- BRANCO, J.J.R.; COSTA, M.T. Roteiro para a Excursão Belo Horizonte - Brasília. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 14, Belo Horizonte, 1961. 119 p.
- BRAUN, O.P.G. Contribuição a Estratigrafia do Grupo Bambuí. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 22, Belo Horizonte, 1968. Anais. p. 155-166.
- \_\_\_\_\_. Geologia da área de Caldas Novas - Ipameri e arredores, no Estado de Goiás. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 24, Brasília, 1970. p. 205-207. (Resumo das Conferências e Comunicações, Boletim Especial nº 1).
- \_\_\_\_\_. A Formação Areado e a Formação Serra Negra. *Revista da Escola de Minas*, 27 (3), Ouro Preto, 1970a.
- \_\_\_\_\_. Contribuição a Geomorfologia do Brasil Central. *Revista Brasileira de Geografia*, 32(3):3-39, 1971.
- CARDOSO, R.N. Nota sobre a Geologia do Grupo Bambuí na região de Buenópolis (Minas Gerais). In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 23, Aracaju, 1973. (Resumos - Boletim Especial nº 1).
- CARRARO, C.C.; CHIANG, L.C.; YAMAGATA, S.C. *Interpretação Geológica da Região do Alto e Médio São Francisco baseada nas Imagens MSS do ERTS-1*. São José dos Campos, INPE, 1975. (INPE-790/TPT/018).
- CARTER, L.D.; STONE, R.O. Interpretation of orbital photographs. *Photogrammetric Engineering*, 15(2): 193-197, 1974.
- CARVALHO, R.T.; EPSTEIN, A.H.L. *A geologia da Folha de Pirapora*. Rio de Janeiro, 1967. Geoexplorações, Relatório Inédito.
- CARVALHO, R.T.; COSTA, L.A.M. Indícios de glaciação em Cristalina, *Rev. Mineração e Metalúrgica*, 48(284): 73-75, 1968.
- COBRA, R.Q. *Laminação de Fluxo e Cisalhamento na Serra do Espinhaço, Minas Gerais*. Recife, SUDENE, 1969. (SUDENE - Série Especial nº 11).
- COLVOCORESSES, A.P. ERTS-A Satellite Imagery. *Photogrammetric Engineering*, 36(16):555-560, 1970.

- \_\_\_\_\_. Image resolutions of ERTS, SKYLAB and GEMINI/APOLO.  
*Photogrammetric Engineering*, 36(1):33-35, 1972.
- COLVOCORESSES, A.P.; MC EWEN, R.B. Progress in Cartography, EROS Program. In: *Symposium of Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1*. Washington, NASA, 1973. v. 1, sec. B, p. 798-887.
- COMISSÃO NACIONAL DE ATIVIDADES ESPACIAIS E DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. *Sensoriamento Remoto no Quadrilátero Ferífero, MG*. São José dos Campos, INPE, 1970 - LAFE 126.
- COSTA, L.A.M.; ANGEIRAS, A.G. Tectonic zoning in the Epi-Baykalian platform of Central Brasil. In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Rio de Janeiro, 1969. v. 41, N.4.
- \_\_\_\_\_. Geosynclinal Evolution of the Epi-Baykalian Platform of Central Brasil. STUTTIGART *Geol. Rundschau*, 60(3):1024-1025, 1971.
- COSTA, L.A.M.; ANGEIRAS, A.G.; VALENÇA, J.G.; STEVANAZZI, V. Novos conceitos sobre o grupo Bambuí e sua divisão em tecnogrupos. Rio de Janeiro, U.F.R.J., 1970. (IG Boletim Geológico, 5).
- DANNI, J.C.M.; DARDENE, M.A.; FUCK, R.O.; RIBEIRO, M.J. Geologia da extremidade da Sa. Dourada, GO. *Revista Brasileira de Geociências*, 3(3): 160-180, 1973.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. *Esboço Tectônico de Minas Gerais*. Belo Horizonte, DNPM, 1968. Inédito.
- \_\_\_\_\_. *Projeto Folha do Rio de Janeiro: Geologia da Região do Médio Rio Grande, Minas Gerais, na escala 1:100.000*. Rio de Janeiro, CPRM, 1971.
- \_\_\_\_\_. *Mapa Tectônico do Brasil*. Rio de Janeiro, DNPM, 1972.
- EBERLE, W.; RIEPLER, M.C. *A Geologia da Folha Diamantina*. Rio de Janeiro, 1968. Geoexplorações. Inédito.
- FARIA, A.; ALMEIDA, J.A.P.; VELOSO, J.A.V. Excursão nº 6 - Cristalina Paracatu com ênfase ao Grupo Bambuí e Cristal de rocha. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 24, Brasília, 1970.



- FERNANDES, A.C.; ARAUÍBAR, O.R.; BALLON, R.A. *Aplicación de Imágenes ERTS al mapeo geológico. Programa Del Satelite Tecnológico de Recursos Naturales ERTS-A Bolivia.* Serviço Geológico de Bolivia, La Paz, 1973.
- FERREIRA, C.O. *Carta do Brasil.* Rio de Janeiro, DNPM, 1972 (DNPM-Bol.1).. *Notícia Explicativa.*
- FORREST, R.B. *Geometrical Processing of ERTS Images.* Michigan, Bendix Research Laboratories, 1971.
- FRANK, R. *A Geologia da Folha Inhaí,* Rio de Janeiro, 1968. *Geoexplorações.* Inédito.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY. *Image-100 System Software Description.* Florida, Space Division, Ground Systems Department, 1974.
- \_\_\_\_\_. *Image-100 User Manual.* Florida, Space Division, Ground Systems Department, 1975.
- \_\_\_\_\_. *Image-100 System Description - Interactive Multispectral Image Analysis System.* Florida, Space Division, Ground Systems Department, 1975.
- \_\_\_\_\_. *Image-100 User Manual Addendum for Image-100 Enhanced Baseline.* Florida, Space Division, Ground Systems Department, 1976.
- GOLD, D.P.; PARIZEK, R.; ALEXANDER, S. *Analysis and Applications of ERTS-1 Data for Regional Mapping.* In: *Symposium on Significant Results obtained from Earth Resources Technology Satellite-1.* 1973. v.1, p. 231-246.
- GODDENOUGH, SHLIENS, S. *Automatic Classification Methodology.* Ottawa, Canada Center for Remote Sensing, Department of Energy, Mines and Resources, 1974. (Canada Center for Remote Sensing Research Report 74.1).
- GUIMARÃES, D. *Arqui-Brasil e sua Evolução Geológica.* Rio de Janeiro, DNPM, 1951. (DNPM-DFPM-Bol. 88).
- \_\_\_\_\_. *Contribuição ao estudo das formações arqueoproterozóicas do Brasil.* Rio de Janeiro, 1966 (DNPM-DFPM-Avulso nº 89).
- HERDER, E.C.; CHAMBERLIN, R.B. *The Geology of Central Minas Gerais, Brasil.* *Journal of Geology*, 13:341-424, 1915.

- HASUI, Y.; CORDANI, V.C. Idades K-Ar de rochas eruptivas alcalinas mesozóicas do oeste mineiro e sul do Goiás. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 22, Belo Horizonte, 1968. Anais. p. 139-144.
- HEINECK, C.A.; TAVARES, W.P. *Projeto Bacias Terciárias do nordeste de Minas Gerais*. Belo Horizonte, CNEN-CPRM, 1971.
- HEINECK, C.A.; GONÇALVES, A.S.; COSTA, F.G.; TAVARES, W.P. *Projeto Espinhaço Meridional*. Belo Horizonte, C.P.R.M., 1972.
- HETTICH, M. A Glaciação Proterozóica no Norte de Minas Gerais. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 29. Belo Horizonte, 1976. p. 22-23. Resumo dos Trabalhos.
- ISOTTA, C.A.L.; ROCHA CAMPOS, A.C.; YOSHIDA, R. Strated pavement of the upper Prê-Cambrian glaciation in Brasil. London, 1969. *Nature*, 222, (5192):466-468.
- KARFUNKEL, B. Geologia da Serra do Espinhaço, no Norte de Minas Gerais. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 29, Belo Horizonte, 1976. p. 24. Resumo dos Trabalhos.
- KARFUNKEL, J. Estudo petrofaciológico do Grupo de Macaúbas, região central da Serra do Espinhaço, em Minas Gerais. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 29, Belo Horizonte, 1976. p. 25. Resumo dos Trabalho.
- KELLER, F. *Applications of side-looking Radar in infrared Sensing to Geological Surveys*. New York, Grumman Aerospace Corporation. Bethpage, 1969.
- KING, L.C. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, 18(2): 147-265, 1956.
- KUMAR, R. *Selection of candidate training samples*. 1975. Inédito.
- LADEIRA, E.A., BRITO, O.E.A. Contribuição à geologia do Planalto da Mata da Corda. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 22, Belo Horizonte, 1968. p. 181-199. (Anais).
- MALLON, H.J. Experimental Applications of Multispectral Data to Natural Resource Inventory and Survey. In: *Annual Earth Resources Program Review*, 3, 1970. v.1.

- MATTOS, J.T. e PEREIRA DA CUNHA, R. *Relatório de Trabalho de Campo no Norte de Minas Gerais*. São José dos Campos, INPE, 1976. Inédito.
- MORAES, L.J. *Geologia da região diamantífera do Norte de Minas Gerais*. Rio de Janeiro, SFPM, 1936. (Serviço de Fomento da Produção Mineral, Bol. n. 19).
- \_\_\_\_\_. *Geologia Econômica do Norte de Minas Gerais*. Rio de Janeiro, 1937. (Serviço de Fomento da Produção Mineral, Bol. 19).
- MORAES REGO, L.F. *Reconhecimento Geológico da Parte Ocidental do Estado da Bahia*. Rio de Janeiro, SGM, 1926. (SGM Boletim 17).
- \_\_\_\_\_. O Vale de São Francisco. *Revista do Museu Paulista*, 20:491-706. 1936.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA) *Data Users Handbook ERTS*. NASA Goddard Space Flight Center, 1972.
- NEWTON, A.R. Pseudostereoscopy with Radar Imagery. *Photogrammetric Engineering*, 39(10):1055-1058, 1973.
- NOSSEIR, M.K.; PALESTINO, C.V.B.; BATISTA, G.T. *Mapeamento de Vegetação Natural dos Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo (Região Leste do Brasil) através de imagens do ERTS-1*. São José dos Campos, INPE, 1975. (INPE LAFE/617).
- OLIVEIRA, M.A.M. *Contribuição à Geologia da parte sul da Bacia do São Francisco e áreas adjacentes*. Rio de Janeiro, Petrobrás, DEPIN, CENPES, 1967. (Petrobrás, Coletânea de Relatórios de exploração, 13).
- PFLUG, R. *A Geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e zonas adjacentes*. Rio de Janeiro, DNPM. Div. Geol. Min., 1965. (DNPM/DGM Bol. 226).
- \_\_\_\_\_. *Relações da Formação Macaúbas com a Série Bambuí no Norte de Minas Gerais*. In: *Contribuição ao Simpósio sobre as Formações Eopaleozóicas*, Rio de Janeiro, 1965.

- SA, J.H.S.; KAWASHITA. Idades Rb/Sr. de rochas do Grupo Macaúbas.  
In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 29, Belo Horizonte, 1976.  
Resumos dos Trabalhos.
- SAD, J.H.G.; CARDOSO, R. N.; COSTA, M.T. Formações cretácicas em  
Minas Gerais: Uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*.  
1(1):2-13, 1971.
- SCHALLER, E.S.; TOWLES, R.W. Image-100 - The interactive  
multispectral image processing system. In: *NASA Earth Resource  
Survey Symposium*. Texas, 1975. v. 1-B, p. 1295-1283.
- SCHOLL, W.U.; SOUZA, O.M. *Geologia da Folha Baldin - Minas Gerais*.  
*Brasil*. Rio de Janeiro, DNPM - SGM, 1970. (DNPM-SGM Boletim 814).
- SIEGAL, B.R.; ABRAMS, M.J. Geologic Mapping Using LANDSAT Data.  
*Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(3):325-337,  
1976.
- SUSZCZYNSKI, E.F. Certains problèmes géologiques et tectoniques dans  
la portion atlantique du Bouclier Brésilien, In: *Anais da Academia  
Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 1968. v. 40(suplemento),  
p. 301-310.
- TURINETTI, J.D.; MINTZER, O.W. Computer Analysis of Imagery.  
*Photogrammetric Engineering*, 39(5):501-505, 1973.
- VON DER MOHR, H.E.C.; RAKSHIT, A.M.; BHATE, V.D.; SHARMA, R.P. The  
use of ERTS-1 multispectral imagery for geological mapping. *ITC  
Journal*, 3, p. 385-394, 1974.
- WATSON, R.D. Spectral Reflectance and Photometric Properties of  
Selected Rocks. *Remote Sensing of Environment*, 2(2):95-100, 1972.
- WELCH, R. Cartographic quality of ERTS-1 images. In: *Symposium on  
significant results from the Earth Resources Technology Satellite-1*.  
Washington, 1973. p. 879-886. v. 1-B, p. 879-886.

## APÊNDICE A

A.1 - Fig. 1 - Mapa tectônico do Brasil - 1972 - na escala 1:5.000.000  
localizando a área estudada.

A.2 - Fig. 2 - Esboço Tectônico da COSTA E ANGEIRAS (1971).

A.3.- Fig. 3 - Esboço Tectônico da ALMEIDA , 1976.

A.4 - - Respostas de amostras estudadas no IMAGE-100.

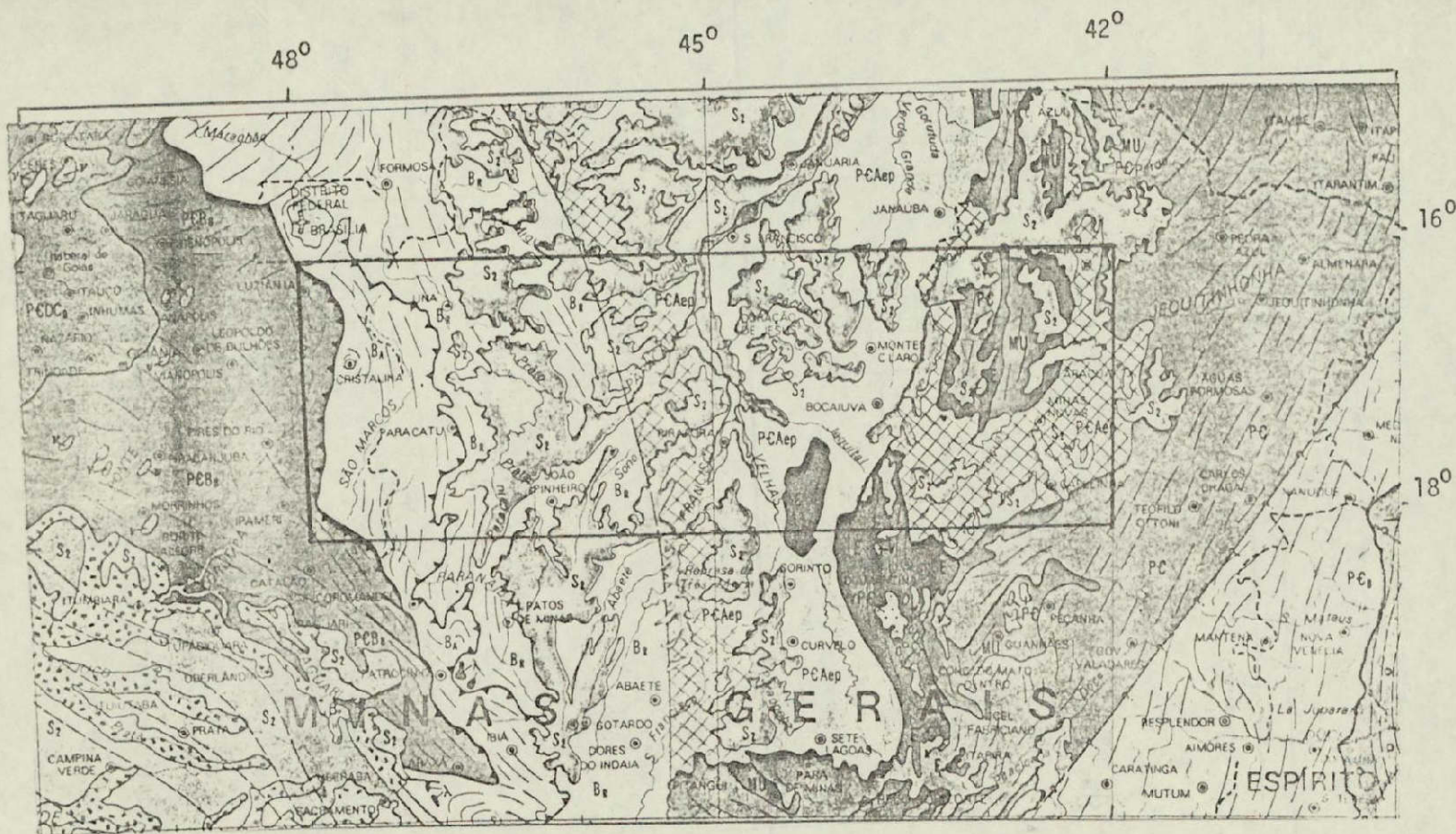


Fig. 1 - Mapa Tectônico do Brasil - 1972 - na escala 1:5.000.000 localizando a área estudada.

ORIGINAL PAGE  
OF POOR QUALITY



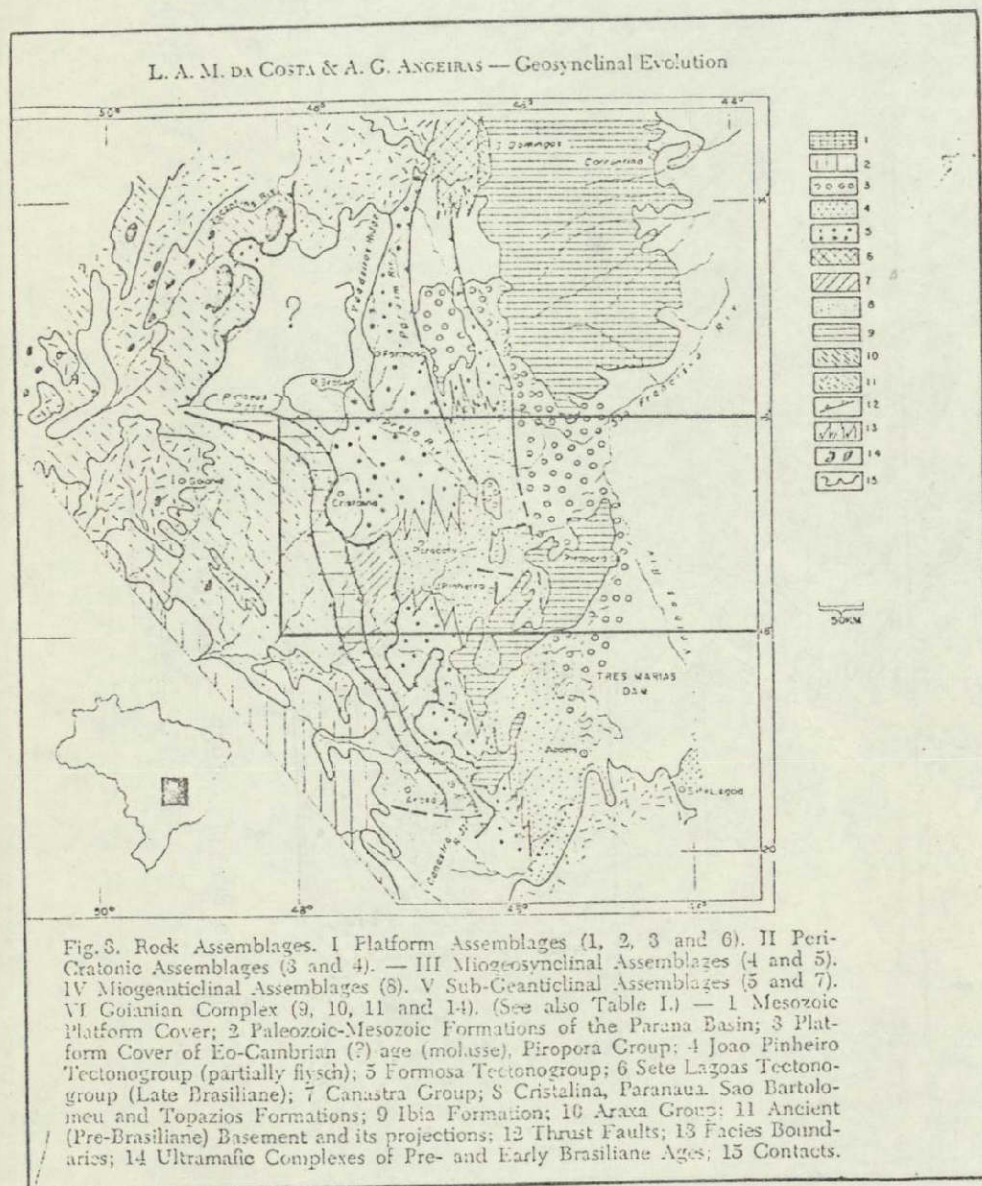


Fig. 2 - Esboço Tectônico de COSTA e ANGEIRAS (1971)



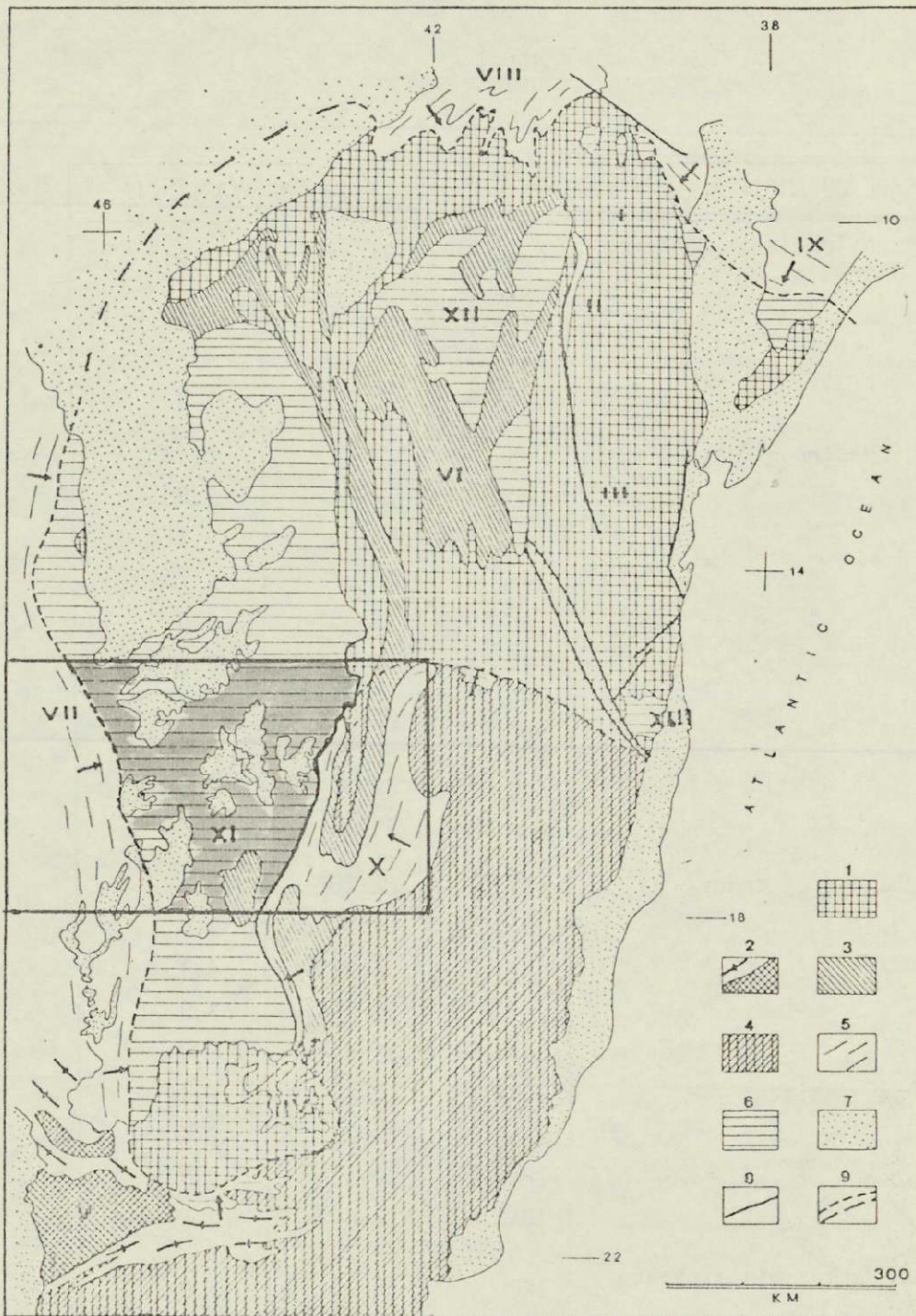


Figure 4 - SÃO FRANCISCO CRATON

1 - Pre-Trans-Amazonian and Trans-Amazonian undifferentiated areas. Caraíba Complex (I) Jacobina Group (II), Jequiá Complex (III), Quadrilátero Ferrífero (IV). 2 - Uruaçu Folded Belt and related covers on the Diamantina Plateau (VI). 3 - Espinhaço Belt and related covers on the Diamantina Plateau (V). 4 - Trans-Amazonian areas rejuvenated during the Brasiliano Cycle. 5 - Brasiliano units: Brasília Fold Belt (VII), Northeastern Fold Region (VIII), Sergipano Fold Belt (IX), Araçuaí Fold Belt (X). 6 - Sedimentary covers correlative of the Brasiliano Cycle: Bambuí Group in the São Francisco Basin (XI) and in the Salitre-Jacaré Basin (XII). Rio Pardo (XIII). 7 - Phanerozoic sedimentary covers. 8 - Major faults. 9 - Craton limit. Arrows indicate vergences.

Fig. 3 - Esboço Tectônico de ALMEIDA, 1976.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY



CANAL 4

UNIDADE OU AMOSTRA		LIMITES *	VARIÂNCIA
Cobertura Terciária Quaternária - lateritas	Lat. 1	22-27	1.24
" " "	Lat. 2	21-28	1.59
" " "	Lat. 3	22-28	1.8
" " "	Lat. 4	22-28	1.3
Grupo Canastra - Quartzitos	Can 1	24-36	2.88
" " "	Can 2	22-36	7.88
" " "	Can 3	23-39	9.71
" " "	Can 4	24-34	4.73
" " "	Can 5	24-35	4.0
" " "	Can 6	24-35	3.9
" " "	Can 7	25-33	2.3
" " "	Can 8	22-34	4.9
" " "	Can 9	22-39	4.2
" " "	Can 10	22-33	5.1
Gr. Bambuí - Calcários	Cal 1	22-29	2.6
" " "	Cal 2	21-29	3.0
" " "	Cal 3	21-31	4.1
" " "	Cal 4	22-29	3.0
" " "	Cal 5	22-44	6.0
Gr. Araxá - Xistos	IBAR 1	22-32	4.1
" " "	IBAR 2	24-33	2-4
" " "	IBAR 3	22-33	4.0
" " "	IBAR 4	22-32	3.5
Fm. Três Marias-Siltitos-Arcôseos.	TRE 1	10.19	3.0
" " "	TRE 2	26.37	5.0
" " "	TRE 3	24.35	5.1

\*Limites de variação, sem cortes

CANAL 5

UNIDADE OU AMOSTRA		LIMITES	VARIÂNCIA
Cobertura Terciária Quaternária - lateritas	Lat. 1	17-25	1.21
" " "	Lat. 2	18-26	1.71
" " "	Lat. 3	22-28	1.8
" " "	Lat. 4	17-24	1.2
Grupo Canastra-Quartzitos	Can 1	17-32	6.27
" " "	Can 2	15-35	16.64
" " "	Can 3	18-38	18.66
" " "	Can 4	17-33	11.33
" " "	Can 5	20-37	10.0
" " "	Can 6	19-34	8.2
" " "	Can 7	21-32	4.9
" " "	Can 8	14-32	12.4
" " "	Can 9	15-36	13.1
" " "	Can 10	14-33	16.6
Gr. Bambuí - Calcários	Cal 1	15-28	7.9
" " "	Cal 2	14-31	9.5
" " "	Cal 3	14-31	10.6
" " "	Cal 4	14-29	7.7
" " "	Cal 5	15-27	8.1
Gr. Araxá - Xistos	IBAR 1	13-35	22.1
" " "	IBAR 2	18-33	7.1
" " "	IBAR 3	17-32	10.2
" " "	IBAR 4	15-34	14.3
Fm Três Marias-Siltitos-Arcóseos.	TRE 1	8-24	9.2
" " "	TRE 2	22-40	11.0
" " "	TRE 3	18-36	12.4

CANAL 6

UNIDADE OU AMOSTRA		LIMITES	VARIÂNCIA
Cobertura Terciária Quaternária - lateritas.	Lat. 1	15-25	6.53
" " "	Lat. 2	13-26	10.17
" " "	Lat. 3	14-26	10.9
" " "	Lat. 4	13-27	8.1
Grupo Canastra-Quartzitos	Can 1	15-34	8.57
" " "	Can 2	17-71	23.38
" " "	Can, 3	17-44	24.09
" " "	Can 4	17-54	22.45
" " "	Can 5	15-53	29.0
" " "	Can 6	16-52	19.4
" " "	Can 7	22-56	25.5
" " "	Can 8	18-54	18.6
" " "	Can 9	15-56	43.8
" " "	Can 10	16-63	48.1
Gr. Bambuí - Calcários	Cal 1	12-59	20.4
" " "	Cal 2	14-36	19.4
" " "	Cal 3	10-61	26.6
" " "	Cal 4	19-36	13.0
" " "	Cal 5	15-72	32.7
Gr. Araxá - Xistos	IBAR 1	17-37	16.4
" " "	IBAR 2	19-74	49.4
" " "	IBAR 3	17-68	49.0
" " "	IBAR 4	18-71	29.3
Fm Três Marias-Siltitos-Arcoseos.	TRE 1	7-29	8.7
" " "	TRE 2	18-22	5.9
" " "	TRE 3	15-34	17.2

CANAL 7

UNIDADE OU AMOSTRA		LIMITES	VARIÂNCIA
Cobertura Terciária Quaternária - lateritas.	Lat. 1	40-59	3.89
" " "	Lat. 2	34-59	5.43
" " "	Lat. 3	22-33	3.7
" " "	Lat. 4	18-35	4.8
Grupo Canastra-Quartzitos	Can 1	18-46	19.10
" " "	Can 2	18-50	42.6
" " "	Can 3	24-58	36.40
" " "	Can 4	24-56	35.92
" " "	Can 5	13-49	37.4
" " "	Can 6	28-50	15.6
" " "	Can 7	24-95	42.0
" " "	Can 8	19-47	28.5
Gr. Bambuí - Calcários	Cal 1	7-54	68.6
" " "	Cal 2	11-54	58.5
" " "	Cal 3	18-58	58.5
" " "	Cal 4	17-54	48.2
" " "	Cal 5	13-62	76.7
Gr. Araxá - Xistos	IBAR 1	22-55	40.5
" " "	IBAR 2	29-58	40.3
" " "	IBAR 3	20-51	50.5
" " "	IBAR 4	24-55	43.3
Fm Três Marias-Siltitos-Arcóseos.	TRE 1	5-30	12.8
" " "	TRE 2		55.0
" " "	TRE 3	10-39	43.1
Grupo Canastra - Quartzitos	CAN 9	22-69	57.9
" " "	CAN 10	9-61	10.4

## APÊNDICE B

B.1 - Fotografias de Trabalho de campo.

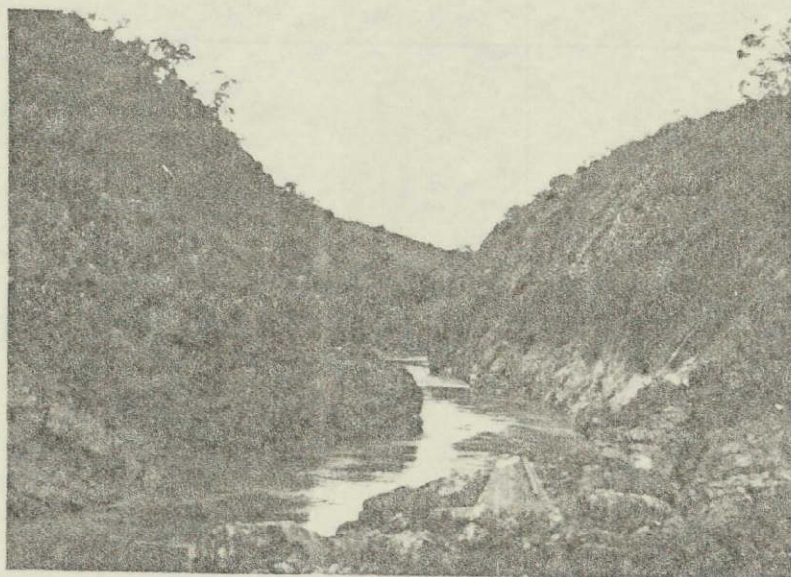


Foto 1 - Quartzitos do Gr. Espinhaço, no rio Jequitinhonha,  
estrada para Itamarandiba (MG).

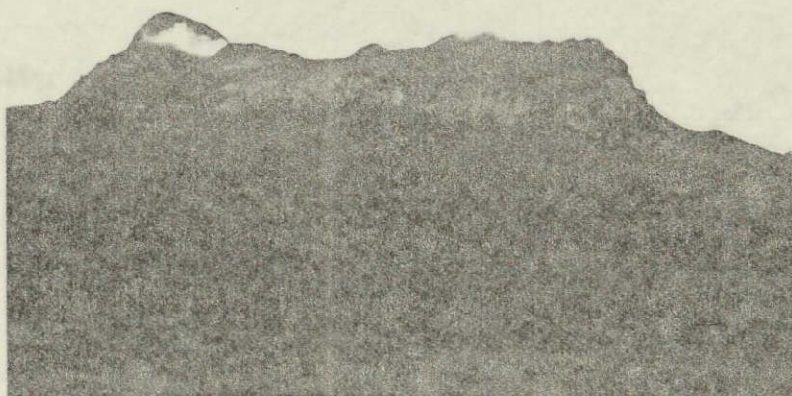


Foto 2 - Quartzitos do Gr. Espinhaço, próximo a Itamarandiba (MG).





Foto 3 - Estratificação Cruzada, em quartzitos do Gr. Espinhaço.  
Grão Mogol (MG).

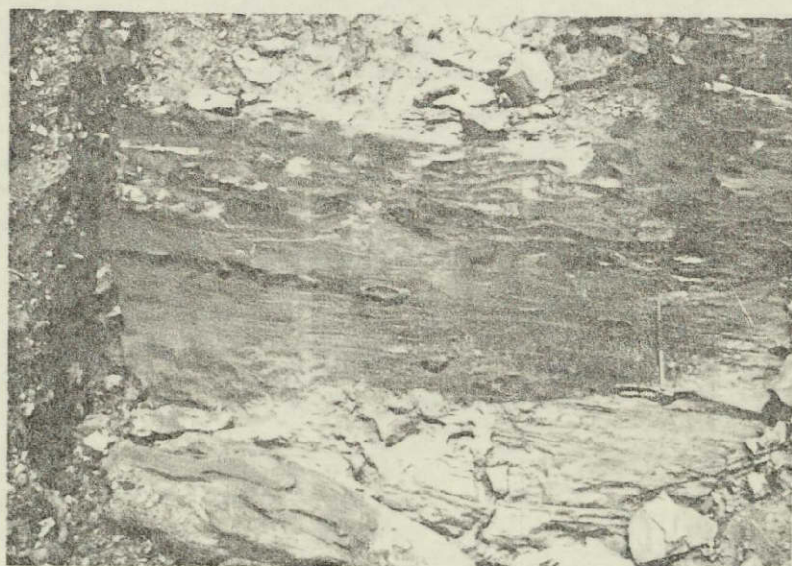


Foto 4 - Seixos orientados, em rochas do Gr. Macaúbas. Subida  
da serra do Espinhaço, próximo a Francisco de Sã (MG).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

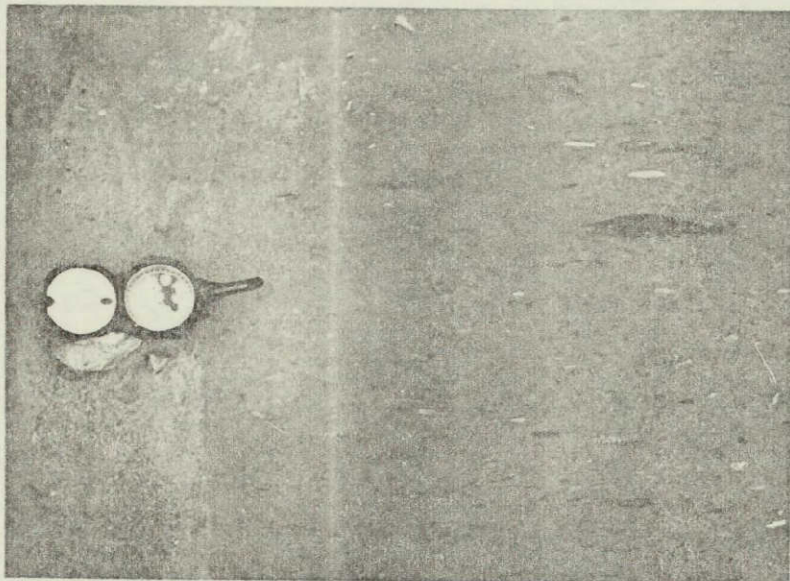


Foto 5 - Seixos alongados em metaconglomerados do Gr. Macaubas.  
rio Vacarias, estrada para Grão Mogol (MG).

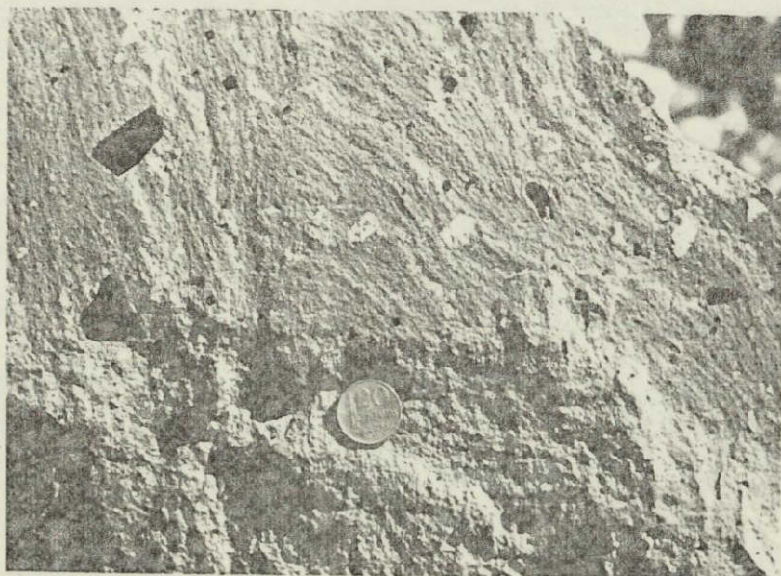


Foto 6 - Diamictitos da Fm. Jequitai, Estrada Jequitai-Montes  
Claros. (MG).



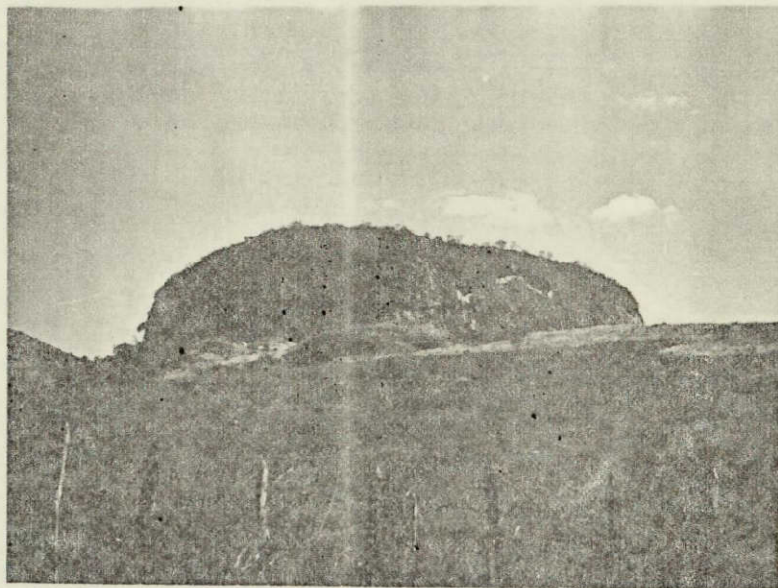


Foto 7 - Granitos de Cel. Murta (MG).

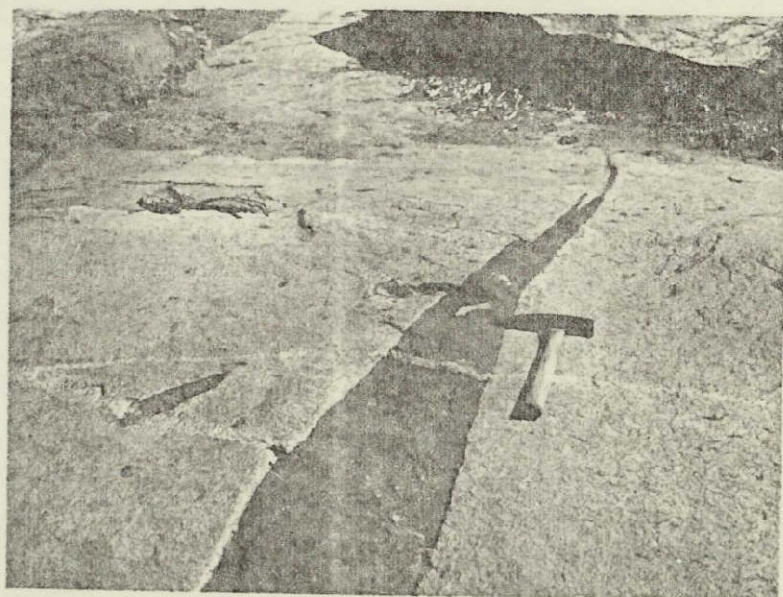


Foto 8 - Xenólitos, em Granitos, próximo a Araçuaí (MG).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

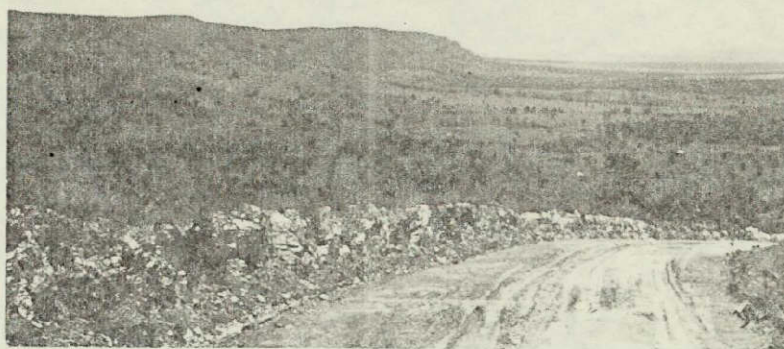


Foto 9 --Contato entre o Gr. Canastra e o Gr. Bambuí, na Serra dos Pilões, Guarda Mor (MG). O Gr. Bambuí aparece em cotas mais baixas.

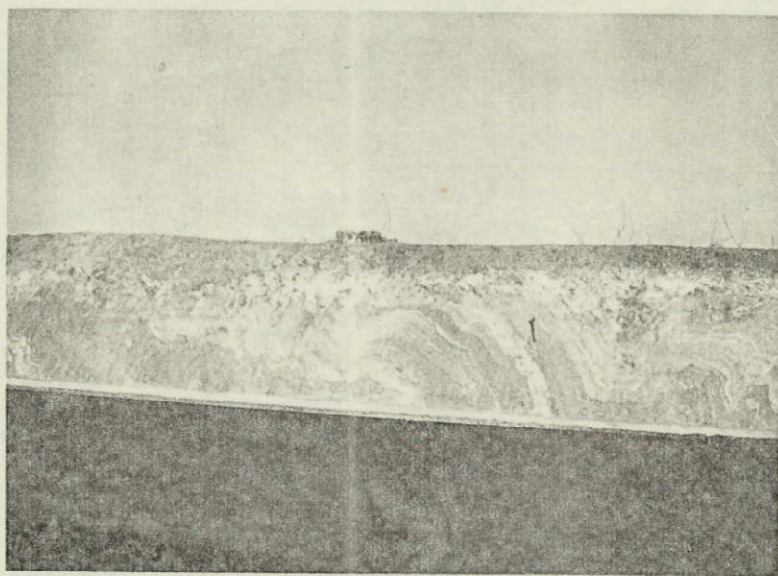


Foto 10 - Dobramento do Grupo Canastra. Estrada Cristalina. Campo Alegre de Goiás.



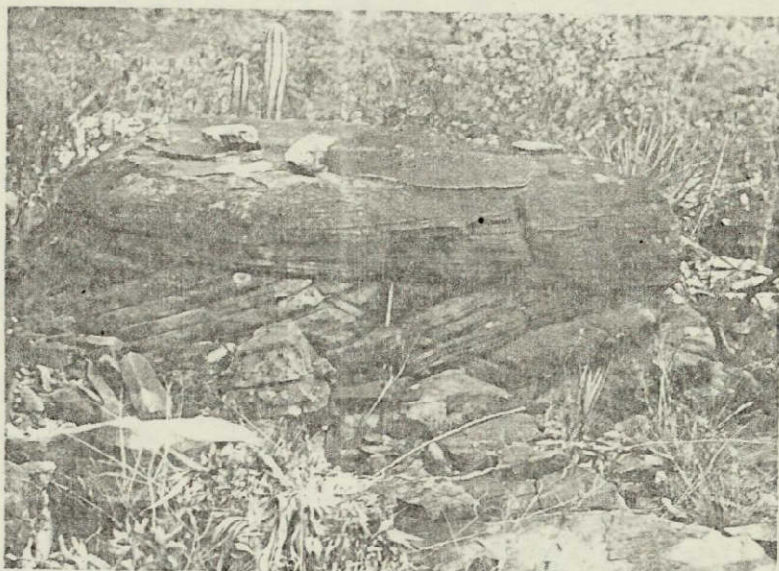


Foto 11 - Estratificação Cruzada na Fm. Paranoá.  
Cristalina (GO).

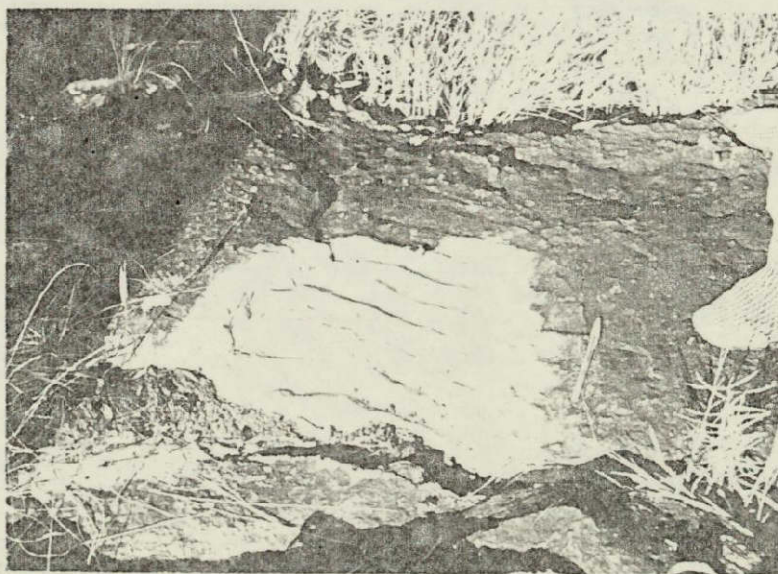


Foto 12 - "Ripple - Marks", na Fm. Paranoá. Cristalina (MG).



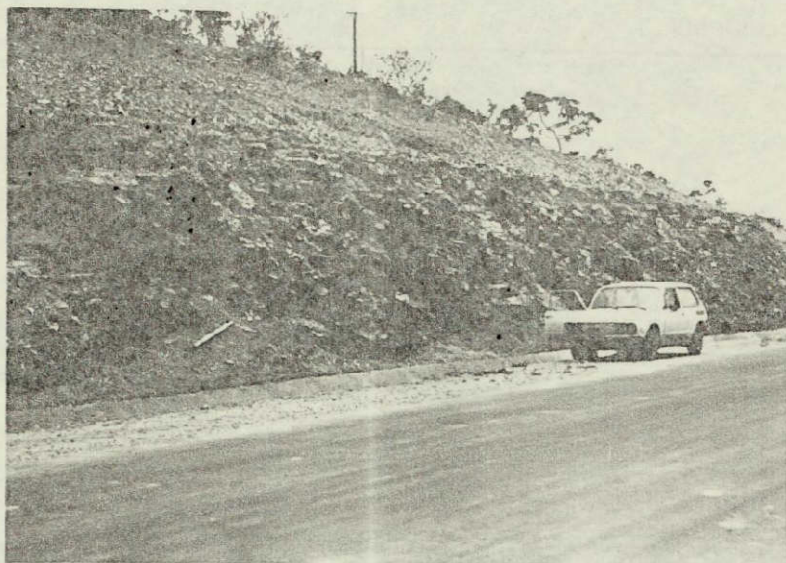


Foto 13 - Ardósias Horizontalizadas, estrada Pirapora.  
Várzea da Palma (MG).

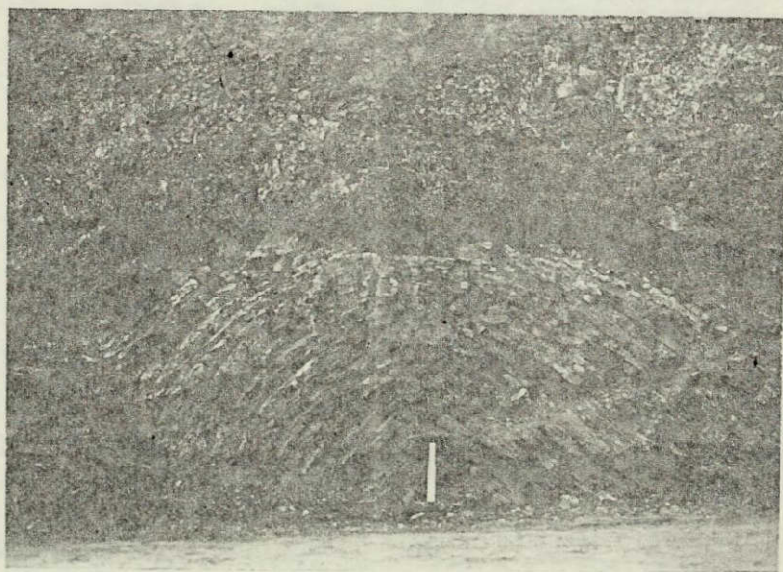


Foto 14 - Ardósias dobradas. Serra da Saudade (MG).



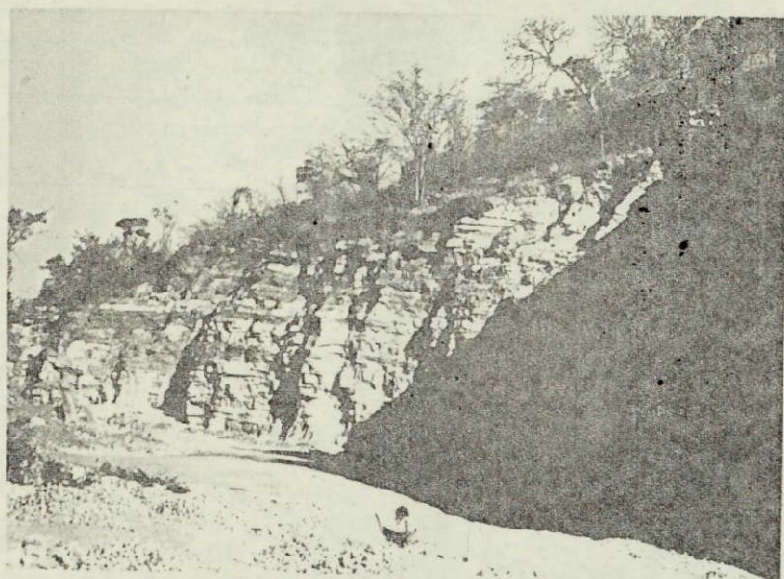


Foto 15 - Calcários horizontalizados, Estrada Canoeiros.  
Sete Lagoas (MG).

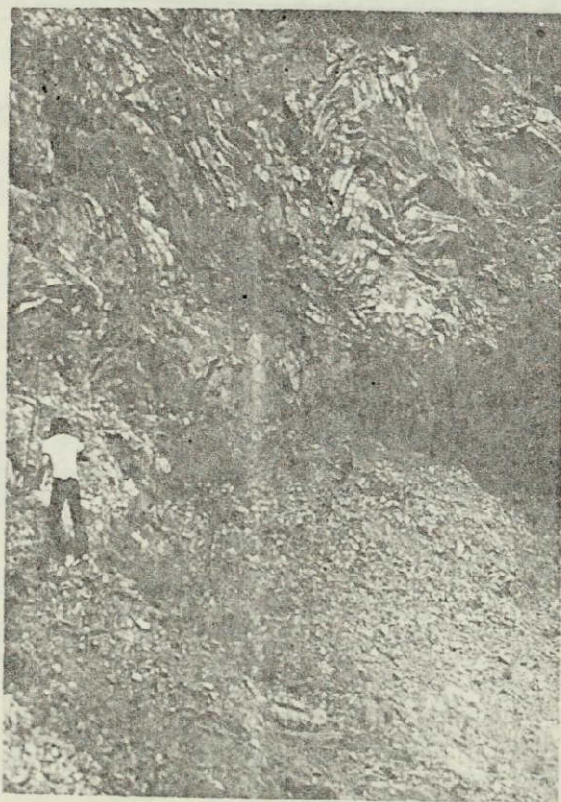


Foto 16 - Calcários dobrados em João Pinheiro (MG).



ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

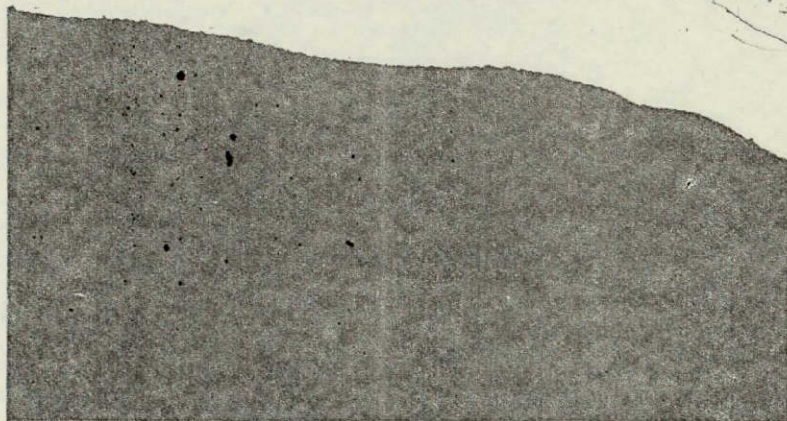


Foto 17 - Fm. Três Marias. Serra da Onça (MG).

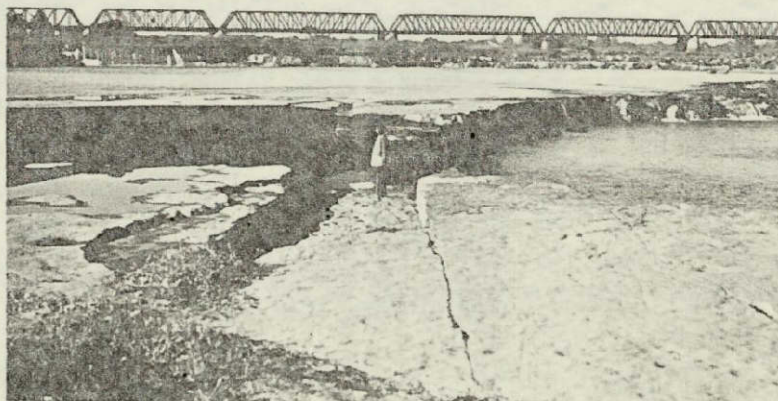


Foto 18 - "Arcôseos Pirapora" no rio São Francisco, Pirapora (MG).





Foto 19 - Contato da Fm. Areado, com o Gr. Canastra,  
próximo a Campos Altos (MG):

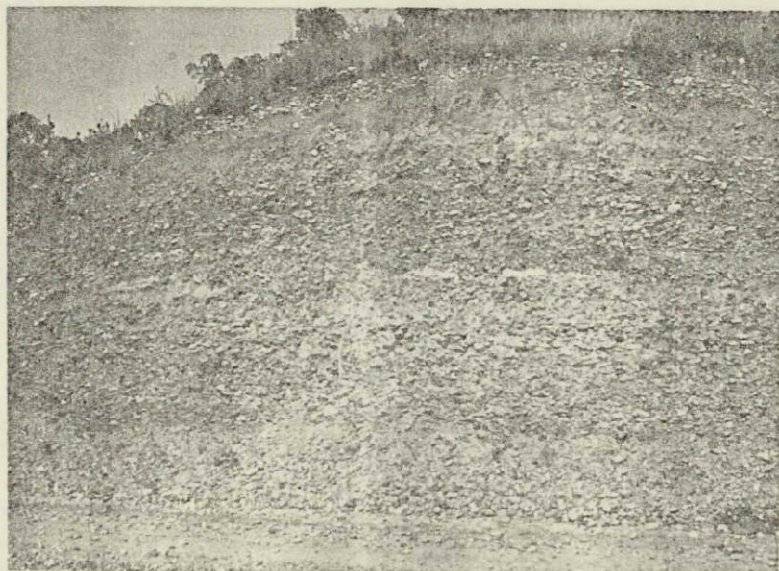


Foto 20 - Conglomerado da base da Fm. Urucuia, próximo ao rio  
das Almas (MG), estrada para Brasilândia (MG-408).

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

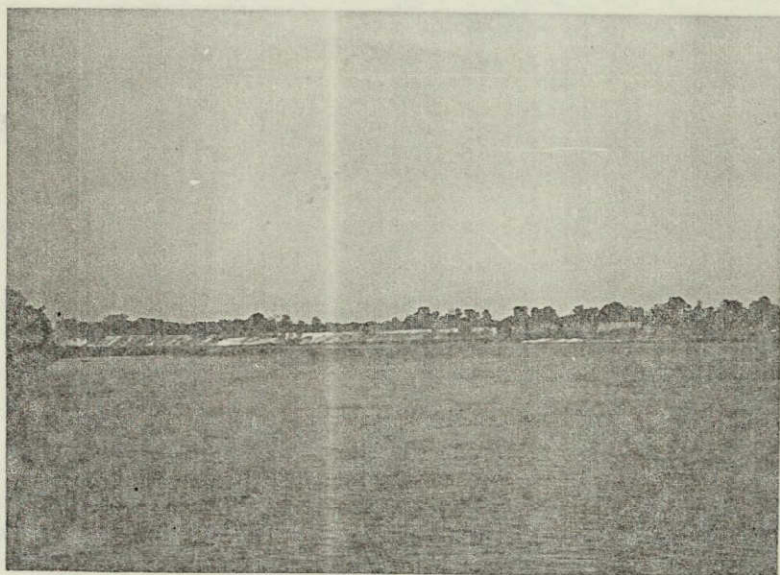


Foto 21 - Coberturas Cenozóicas, da bacia do rio Paracatu,  
travessia para Santa Fê de Minas.



## APÊNDICE C

C.1 - Mapa Geológico. (LANDSAT).

C.2 - Esboço Tectônico (LANDSAT).

C.3 - Mapa de drenagem (LANDSAT).

C.4 - Interpretação geológica da imagem 178-23

C.5 - Interpretação geológica da imagem 178-24.

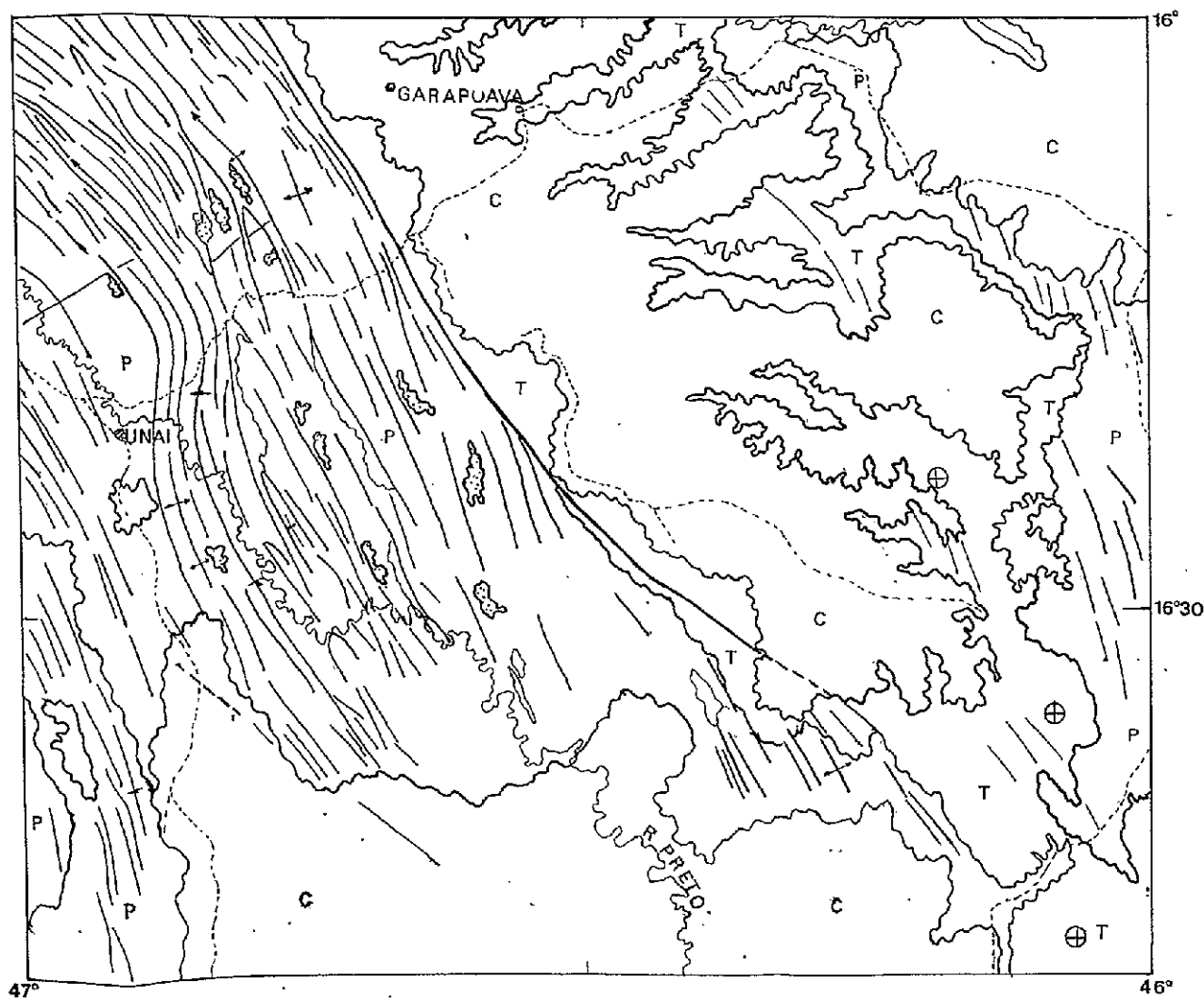
ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

FOLDOUT FRAME

2



C COBERTURAS CENOZOICAS

T FM. TRES MARIAS

P FM. PARAPEBA

CAMADA HORIZONTAL

CONTATOS

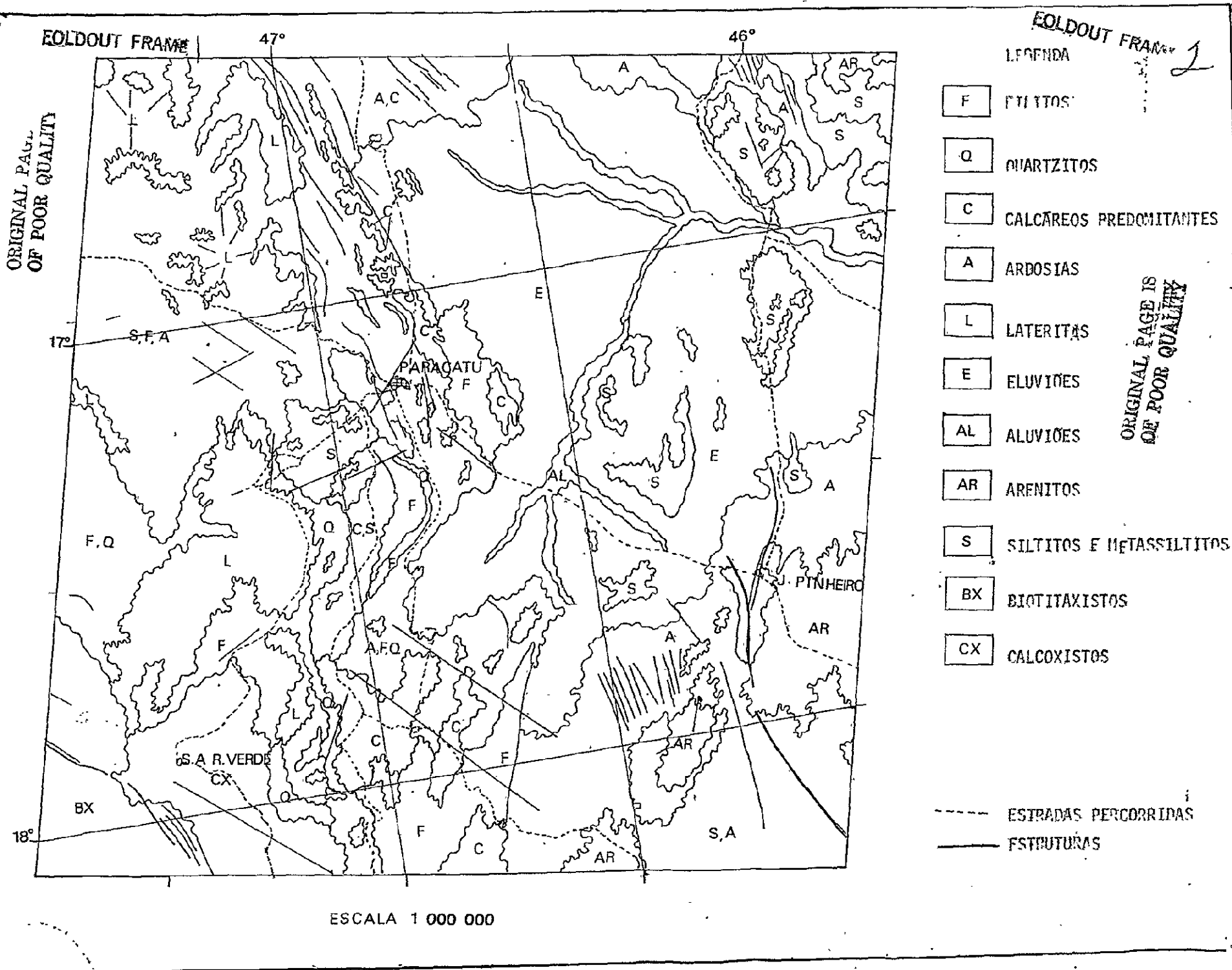
FALHA INVERSA

LINEAMENTOS

CALCAREOS

ESTRADAS PERCORRIDAS

ESCALA 1: 500 000



## APÊNDICE D

D.1 - Unidades Geológicas (RADAR).

D.2 - Estruturas (RADAR).

D.3 - Drenagem (RADAR).

## APÊNDICE E

E.1 - Esboço Geológico através de fotografias aéreas.

## APÊNDICE F

F.1 - Quadro sinoptico das características das principais unidades geológicas.